



**CARLA SOFIA PEREIRA
MATINHAS**

**OBRAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E TESTES
GEOELÉTRICOS DE AQUISIÇÃO COM UM RESISTIVIMETRO
WDA-1**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Dr. Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e do Dr. Fernando Ernesto Rocha de Almeida, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Aos meus Pais...

o júri

presidente

Prof. Doutor Jorge Medina Girão Medina
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Rui Miguel Marques Moura
professor auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (arguente)

Prof. Doutor Fernando Ernesto Rocha de Almeida
professor associado do Depart. De Geociências - Universidade de Aveiro (coorientador)

agradecimentos

Agradeço a todos os que me ajudaram neste longo processo.

Um especial agradecimento aos meus amigos, Nuno Barraca, Bruno Soares, Joana Duarte, Tiago Cerejo, Sara Diogo, Ana Catarina, que prestaram todo apoio, mesmo quando o trabalho era mais duro (trabalho de campo).

Ao Carlos Bonga um agradecimento pelo seu apoio e companhia nos vários e longos trabalhos de campo, bem como nas tardes de análises de resultados.

Não poderia deixar de agradecer á Empresa Captágua, pela oportunidade que me proporcionou e pela forma simpática com que fui acolhida.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Fernando Almeida um grande agradecimento pelo ensino, pela paciência e por toda a disponibilidade, sempre disponível a ajudar.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Eduardo Silva pela sua orientação inicial e final do trabalho, sempre com poucas palavras mas sábias, clareza na exposição dos problemas e facilitando tudo o que a partida parecia difícil.

Um agradecimento especial ao meu namorado, Carlos Sousa, por toda a compreensão, paciência e motivação que foram indispensáveis ao longo de todo este processo.

O maior agradecimento e a quem dedico esta tese é a minha família, aos meus pais, pelo sacrifício e por todo o esforço que fizeram para que eu conseguisse concretizar o meu sonho, fazendo um investimento no meu futuro e acreditando sempre que eu era capaz.

palavras-chave

Captação de águas subterrâneas, aquífero, geofísica, pseudo-secção.

resumo

Esta dissertação foi fruto do trabalho desenvolvido durante um estágio curricular na empresa Captágua - Captações de Água Lda, que possibilitou à estagiária participar ativamente no dia-a-dia da empresa.

A principal atividade da empresa em questão é a captação de águas subterrâneas. Por esse motivo, o primeiro objetivo de trabalho foi o acompanhamento de obra, adquirindo conhecimentos sobre todos os procedimentos envolvidos numa obra deste género (captação de águas subterrâneas), conhecendo todos os métodos de perfuração utilizados (por rotação ou rotoperussão) e em que situações se aplicam.

Devido à aquisição recente pela empresa de um equipamento de resistividade elétrica, surgiu mais um objetivo de trabalho, que foi o desenvolvimento e a implementação da metodologia, ou seja, desde o estudo do equipamento e de todas as suas funcionalidades até à aplicação do equipamento num caso de estudo em concreto (Fontão). Também foram realizados testes (pseudo-secções) em locais com diferentes geologias/ diferentes resistividades (desde baixas a altas) e foram tiradas conclusões relativamente ao modo de funcionamento do equipamento em cada situação.

keywords

Groundwater, aquifer, geophysics, pseudo-section.

abstract

This thesis presents the work carried out during a curricular internship in Captágua - Captações de Água Lda, which allowed to the intern to participate actively in everyday life of the company.

The main activity of the company is the installation of groundwater extraction wells. For this reason, the first objective was acquiring knowledge about all the procedures involved in well design and installation tasks, knowing all drilling methods used (rotary or rotopercurssion drilling techniques) and the different scenarios to be applied.

Due to the recent acquisition electrical resistivity equipment by Captágua, a new task was added in the internship program, which was the development of the methodology and the implementation of this new equipment, and the application to the Fontão case study.

Pseudo-section tests were also conducted in different locations with different geologies/resistivity (from low to high) and conclusion were taken about the equipment operating mode in each scenario.

Índice

Capítulo 1 – Introdução	7
Capítulo 2 – Captações de Água Subterrânea	9
2.1. Enquadramento teórico	9
2.2.1. Recarga do Aquífero	12
2.2. Construção de um furo de captação de água	13
2.2.1. Estudo hidrogeológico prévio	14
2.2.2. Métodos de perfuração	15
2.2.3. Diâmetros de perfuração	19
2.2.4. Verticalidade e linearidade da perfuração	21
2.2.5. Furo de Pesquisa	21
2.2.6. Transformação do furo de pesquisa em captação	24
2.4. Ensaio de Caudal	33
2.5. Acabamento do furo, equipamento de bombagem e manutenção geral	36
2.5.1. Cabeça de furo	36
2.5.2. Equipamento de bombagem	37
2.5.3. Manutenção	38
2.6. Relatório final da Obra	38
2.7. Saúde, higiene e segurança no trabalho	39
Capítulo 3 – Acompanhamento de obras durante o estágio	41
3.1. Furo 1 (Anexordem, Lda)	41
3.2. Furo 2 (Manuel Carvalheiro)	42
3.3. Furo 3 (Águas da Figueira)	42
3.4. Furo 4 (Cobelba)	43
3.5. Furo 5 (Instituto Politécnico de Leiria)	44
3.6. Furo 6 (António Lopes da Mota)	44
3.7. Furo 7 (Fernando Alves da Cunha)	44
3.8. Furo 8 (Santa Casa da Misericórdia de Santa Comba Dão)	45
3.9. Furo 9 (Luís Miguel de Castro)	45
3.10. Furo 10 (António Branco Tavares & Filhos)	45
3.11. Furo 11 (Nutrigreen, SA)	46
3.12. Furo 12 (Manuel Rodrigues Ferreira)	46
3.13. Furo 13 - Águas do Ribatejo	46
Capítulo 4 – Método de resistividade elétrica	57
4.1. Enquadramento teórico do método	58
4.1.1. Métodos Geofísicos	58
4.2. Aplicações	66
4.2.1. Vantagens e limitações	66
Capítulo 5 – Desenvolvimento metodológico e aplicação a um caso de estudo	67
5.1. Equipamento WDA-1	68
5.2.1. Planeamento da Campanha de Prospeção	69
5.2. Caso de estudo	72
5.2.1. Enquadramento Geográfico, Geomorfológico e Geológico	73
5.2.2. Apresentação e análise de resultados – Fontão	76

5.2.3. Comparação dos resultados do Fontão com outros de duas localidades	82
Capítulo 6 – Conclusões	87
Bibliografia	89
ANEXOS	91

Índice de Figuras

Figura 1.1– Sede da empresa em Leiria, (fonte: www.captagua.pt).	7
Figura 2.1 – Classificação dos aquíferos quanto ao tipo de permeabilidade (Ferreira et al., 2012).	10
Figura 2.2 - Classificação dos aquíferos quanto á pressão (Ferreira et al., 2012).	11
Figura 2.3- Divisão de Portugal Continental, consoante a área de atuação de cada entidade, ex-ARH, que foi substituída pela APA (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente – Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território).	14
Figura 2.4 - Perfuração pelo método de rotação com circulação direta (Ferreira et al., 2012).	16
Figura 2.5 - Perfuração pelo método de rotação com circulação inversa (Ferreira et al., 2012).	17
Figura 2.6- Perfuração por rotopercussão com martelo de fundo de furo (Ferreira et al., 2012).	19
Figura 2.7- (A, B) Tricone (dentes tungsténio ou aço) –; (C) Bit; (D) Trialeta; (E) Bicão.	20
Figura 2.8 - Disposição no terreno das amostras das formações geológicas atravessadas e respetivas etiquetas.	22
Figura 2.9 - Tubo Georoscado de areão aglomerado.	26
Figura 2.10 – Alguns tipos de rasgos dos tubos-ralo (Ferreira et al., 2012).	27
Figura 2.11 - Centralizador colocado num tubo em PVC Georoscado Estriado.	28
Figura 2.12 - Limpeza e desenvolvimento de uma captação pelo método "air-lift", (Ferreira et al., 2012).	31
Figura 2.13 - Esquema de resumo das fases de construção de um furo de água (coluna de revestimento com redução), (Ferreira et al., 2012).	32
Figura 2.14 - Efeito da bombagem de furos a captar num aquífero livre (A) e num aquífero confinado (B), (Ferreira et al., 2012).	33
Figura 2.15 - Dispositivo de medição de níveis e dispositivos de medição de caudal com tanque de aferição ou com caudalímetro, (Ferreira et al., 2012).	34
Figura 2.16 - Representação gráfica de um ensaio de caudal escalonado com estabilização de níveis e recuperação final, sendo $t_1=t_2=t_3$ e $Q_1<Q_2<Q_3$, (Ferreira et al., 2012).	34
Figura 2.17 - Curvas características teóricas $r = f(Q)$ para um aquífero livre (A) e para um aquífero confinado (B), (Ferreira et al., 2012).	35
Figura 2.18 - Determinação do caudal crítico e do caudal máximo de exploração a partir da curva característica $r = f(Q)$, (Ferreira et al., 2012).	35
Figura 2.19 - Evolução do gráfico $r = f(Q)$ consoante os graus de limpeza / desenvolvimento e/ou de colmatção progressiva do furo, (Ferreira et al., 2012).	36
Figura 2.20 - Esquema simplificado da “cabeça” e da caseta de um furo, (Ferreira et al., 2012).	36
Figura 3.1 – Localização da Captações abordadas, (fonte: Google earth).	41
Figura 3.2 – Captação de água pelo método rotação com circulação direta (com respetiva barroca de lamas).	41
Figura 3.3 – Máquina de perfuração, tubos georoscados e respetivo material (seixo) para o maciço filtrante.	42
Figura 3.4 – Perfuração e revestimento do furo – A, separação das amostras – B, centralizadores – C e tubo georoscado – D.	43
Figura 3.5 – Entubamento do furo com tubo georoscado (A), colocação de centralizadores (B) e Barroca de lamas (D).	43
Figura 3.6 – Localização da Nova Captação em Almeirim (adaptado de Google earth).	47
Figura 3.7 – Localização da Nova Captação em Benfica do Ribatejo (adaptado de Google earth).	47
Figura 3.8 – Barroca de lamas e perfuração pelo método da circulação inversa.	49
Figura 3.9 – Ensaio de Caudal escalonado com bomba submersível.	52
Figura 3.10 – Perfuração Horizontal.	54
Figura 4.1 - Modelo de fluxo de corrente elétrica num cabo pela Lei de Ohm (Modificado de Kearey et al., 1984)	60

Figura 4.2 - Fluxo de corrente a partir de um único eléctrodo à superfície (adaptado de Kearey et al., 1984).	60
Figura 4.3 - Resistividade em meios homogéneos e heterogéneos (Braga, 2007).	61
Figura 4.4 – Esquema representativo do princípio da resistividade elétrica (A e B- eléctrodos de corrente; M e N- eléctrodos de potencial) (Lima e Barbosa, 2011).	62
Figura 4.5 - Arranjo de Wenner (adaptado Orellana, 1972).	64
Figura 5.1- Representação esquemática do processo de aquisição de dados de resistividade com sistema multieléctrodo e geometria da respetiva secção (adaptado de ABEM, 2007).	67
Figura 5.2- Resistímetro WDA-1.	68
Figura 5.3- Eléctrodos de potencial e de corrente, (www.wtsgeo.com).	69
Figura 5.4 - Desmatação da área para abrir uma linha e colocar os eléctrodos.	70
Figura 5.5 - Colocação dos eléctrodos no terreno e ligação ao cabo.	71
Figura 5.6 - Ligação do cabo (cabo a laranja) ao resistímetro (caixa amarela).	71
Figura 5.7 - Regar os eléctrodos com água e sal.	71
Figura 5.8 - Obtenção dos dados pelo PDA e visualização das respectivas pseudo-secções.	72
Figura 5.9 - Localização da área de estudo.	73
Figura 5.10 - Enquadramento geológico da área de estudo: a – Extraído da Carta Geológica á escala 1:500000. Serviços geológicos de Portugal; b – adaptado da Geoporta, LNG, (2014).	74
Figura 5.11 - Xistos cobertos por depósitos de cobertura (cascalheiras).	74
Figura 5.12 - Mapa litológico da área de estudo e localização das pseudo-seções, (Bonga, 2014).	76
Figura 5.13 - Pseudo-Secção P1- Modelo de Resistividade.	77
Figura 5.14 - Pseudo-secção P2 – Modelo de Resistividade.	78
Figura 5.15 - Poço de água.	78
Figura 5.16 - Pseudo-secção P3 – Modelo de Resistividade.	79
Figura 5.17 - Pseudo-secção P4 – Modelo de Resistividade.	80
Figura 5.18 - Ligação entre o modelo geofísico e as nascentes (Bonga, 2014).	81
Figura 5.19 - Localização da área de estudo (Vacariça).	82
Figura 5.20 - Possível fonte de contaminação do terreno.	83
Figura 5.21 - Pseudo-secção Vacariça – Perfis de resistividade aparente medida, aparente calculada e modelo de resistividade.	83
Figura 5.22 - Pseudo-secção de local incógnito.	84

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Análises da água.	53
Tabela 3.2 – Tabela resumo, referente às obras de captação de água abordadas.	55
Tabela 4.1- Resumo dos principais métodos Geofísicos (modificado de Keary, 2009).	58
Tabela 4.2- Resistividade e condutividade de alguns minerais e rochas (Telford et al., 1990; Aktarakçi, 2008).	59
Tabela 4.3 - Dispositivos elétricos mais comuns e suas respectivas expressões para o cálculo da resistividade (adaptado de Sharma, 1997).	63
Tabela 4.4 - Adequação dos dispositivos geoeletricos a cada caso de estudo (com A, B e C do mais adequado para o menos adequado) (Loke, 1999).	63
Tabela 5.1 - Correspondência entre as resistividades das diferentes zonas e a respetiva fonte de alimentação.	85

Capítulo 1 – Introdução

Este relatório de estágio foi fruto do trabalho desenvolvido pela aluna Carla Matinhas, com orientação do Prof. Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva e do Prof. Doutor Fernando Ernesto Rocha de Almeida, na empresa Captágua, Captações de água, Lda. A possibilidade de realização deste trabalho foi fruto de um protocolo celebrado entre a Universidade de Aveiro e a empresa Captágua.

A empresa Captágua é uma empresa que conta com mais de três décadas de experiência, sendo constituída em 1977, com sede em Vagos, no distrito de Aveiro.

Atualmente, a empresa tem sede em Leiria (Figura 1.1) e duas filiais (Vagos, distrito de Aveiro e Carregueira- Chamusca, distrito de Santarém).

Apesar de a empresa, desde 2005, ter surgido com uma nova dinâmica, o seu objetivo continua a ser a satisfação das necessidades dos clientes e a preservação dos recursos hídricos.

A principal atividade da empresa é a execução de furos de captação de água, quer para entidades públicas ou privadas. No entanto, esta empresa possui um vasto leque de serviços, tais como: realização de furos de geotermia, furos de piezómetros, furos de biogás, furos de rebaixamento de níveis freáticos, montagem de bombas, ensaios de caudal, diagrfias, filmagem de furos, limpeza e recuperação de furos, tratamentos de água e venda/aluguer de geradores. Todos os serviços prestados pela empresa são executados com elevada competência, recorrendo sempre à mais recente tecnologia, permitindo o desenvolvimento de negócios sustentáveis e rentáveis.



Figura 1.1– Sede da empresa em Leiria, (fonte: www.captagua.pt).

Considerando o facto de o estágio decorrer numa empresa cuja sua principal atividade é a captação de água, o principal objetivo de trabalho foi possibilitar à estagiária um acompanhamento das obras realizadas, bem como participar e perceber como funciona o dia-a-dia numa empresa ligada a área e qual o papel fundamental de um engenheiro geólogo na empresa. Sendo a aposta da empresa a oferta de tecnologia de ponta e na inovação dos métodos aplicados, foi adquirido um equipamento de resistividade elétrica (WDA-1) que foi necessário rotinar. Sendo assim podem considerar-se dois os grandes objetivos deste relatório de estágio:

- a) **Acompanhamento de obra** – no qual se referem várias obras realizadas ao longo do estágio, permitindo comparar e obter um leque diversificado de vários tipo de obra, bem como vários

métodos e técnicas de trabalho. Sendo ainda, referido um caso de estudo mais aprofundado, realizado nas águas do Ribatejo.

- b) **Implementação e desenvolvimento do método de resistividade** (Resistivímetro WDA-1) – este capítulo explica o modo de funcionamento do resistivímetro e apresenta um caso de estudo (Fontão), fazendo também uma comparação da aplicação do método em diferentes localidades, por apresentarem em cada caso resistividades extremas baixas no sedimentar e elevadas no cristalino.

Capítulo 2 – Captações de Água Subterrânea

Como referido anteriormente, tendo em conta a principal área de trabalho da empresa, a captação de água, e tal como o próprio nome indica “Captágua”, surgiu assim a realização deste capítulo.

O objetivo passou pelo acompanhamento da estagiária nas diferentes obras, realizadas durante o período de estágio. Assim sendo, permitiu ao estagiário ver e acompanhar as diferentes obras, adquirindo um maior conhecimento e mais abrangente das diferentes realidades que podem ser encontradas, tendo em conta que os trabalhos foram realizados em diferentes contextos.

Neste capítulo, são apresentadas treze obras. Foram realizadas em locais distintos, com geologias diferentes e, que permitem exemplificar os diferentes métodos de exploração.

De forma a sintetizar a informação, os dados das diferentes obras são expostos numa tabela, permitindo também uma melhor visualização das diferenças entre as características de cada exploração.

Antes de apresentar a experiência adquirida no terreno sintetiza-se alguns conhecimentos acerca da construção de um furo de captação de água, incluindo: legislação em vigor, estudo hidrogeológico, os aquíferos, da exploração propriamente dita (métodos de perfuração, diâmetros de perfuração, revestimento, tubos-ralos, furo de pesquisa), ensaios de Caudal e relatório final da obra.

2.1. Enquadramento teórico

Antes de referir todas as etapas de construção de um furo de captação são revistos alguns conceitos hidrogeológicos considerados importantes para o conhecimento e a identificação de zonas favoráveis a ocorrência de águas subterrâneas.

Os recursos hídricos de uma região são um dos fatores determinantes para o desenvolvimento económico da mesma.

O primeiro investigador a utilizar o termo hidrogeologia foi Lucas, em 1880, ao referir-se a um estudo geológico das formações, para investigação de águas subterrâneas (Custodio e Llamas, 1976).

As rochas funcionam como reservatórios de água, que pelas suas propriedades químicas e físicas, podem ser extraídas ou exploradas para diversos fins, através de técnicas apropriadas. O conjunto destes reservatórios, com água disponível para ser utilizada denomina-se aquífero.

Segundo (Todd, 1959), os aquíferos que ocorrem com maior frequência são formados por depósitos não consolidados de materiais soltos, como por exemplo areias, podendo estes ter origens muito distintas; fluviais, deltaicos e depósitos sedimentares provenientes da acumulação de partículas transportadas pela gravidade, vento, gelo, etc.

Um aquífero é um estrato ou formação geológica que permitindo a circulação da água nos seus poros ou fissuras, faz com que o Homem possa aproveitá-las, em quantidade apreciável e economicamente rentável, para suprir as suas necessidades (Custódio & Llamas, 1983).

Quanto ao tipo de permeabilidade das formações rochosas é possível encontrar três tipos de aquíferos, os quais estão representados na figura 2.1.

- a) Aquífero fissurado - formado por rochas ígneas e metamórficas (exemplo: basalto, granitos, gabros, xistos, etc), ou seja, formado por rochas duras cuja circulação da água só é possível através de fraturas, fissuras e falhas, criadas devido as tensões tectónicas, conferindo-lhe “permeabilidade fissural”.
- b) Aquífero Cársico – formado por rochas calcárias ou carbonatadas, cuja circulação da água se faz por cavidades, que resultam da dissolução do carbonato pela água.
- c) Aquífero Poroso – formado por rochas sedimentares não consolidadas, onde a circulação da água se faz entre os espaços vazios, ou seja, poros ou interstícios resultantes do arranjo dos materiais que a constituem (areia, silte e argila) que lhe conferem “permeabilidade intersticial”. Este tipo de aquíferos ocorre em bacias sedimentares e zonas de planície onde se acumulam sedimentos arenosos.

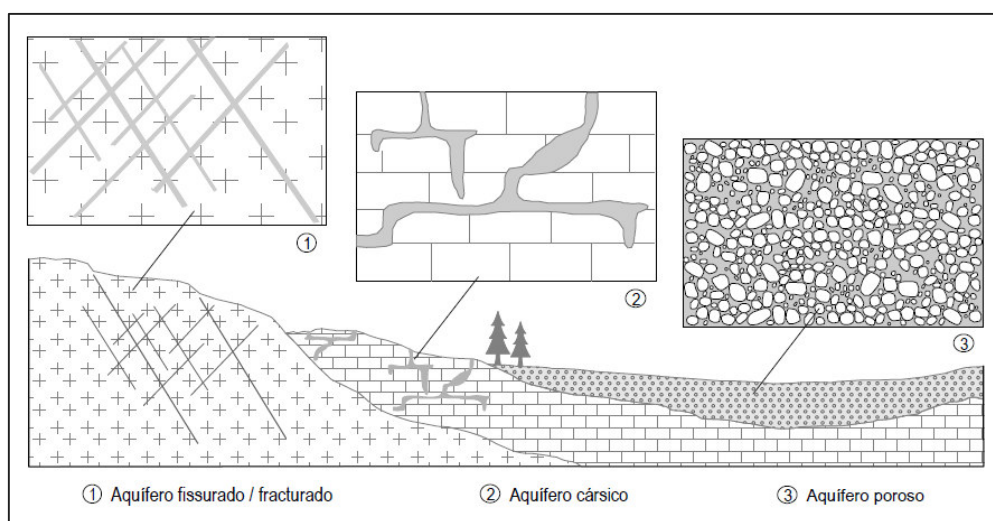


Figura 2.1 – Classificação dos aquíferos quanto ao tipo de permeabilidade (Ferreira et al., 2012).

Os aquíferos podem também ser classificados quanto à pressão a que está submetida a água contida nessas formações (Figura 2.2), em três tipos:

- a) Aquífero livre: ou também, designado aquífero freático, é um aquífero cuja água se encontra a pressão atmosférica. Assim, num determinado ponto, um furo que atravesse, total ou parcialmente, um aquífero livre, o nível da água ou nível freático, coincidirá com o limite superior da zona saturada nesse ponto. Os aquíferos livres são superficiais ou sub-superficiais, o que facilita a sua exploração e recarga, mas também a sua contaminação.
- b) Aquífero confinado: ou também, designado de aquífero cativo, é um aquífero limitado superior e inferiormente por formações impermeáveis ou praticamente impermeáveis. Nos aquíferos confinados, a água está submetida a uma pressão superior à pressão atmosférica e todos os poros ou outros espaços estão completamente saturados de água. Num furo que intersete um aquífero confinado, o nível da água ou nível piezométrico subirá acima do limite superior (teto) do aquífero até estabilizar num determinado nível. Este fenómeno é conhecido por artesianismo. Diz-se artesianismo positivo quando o nível piezométrico atinge e ultrapassa a superfície do terreno na forma de repuxo (furo repuxante); diz-se artesianismo negativo quando o nível piezométrico não atinge a superfície do terreno.
- c) Aquífero semi-confinado: ou designado, aquífero semi-cativo, é um aquífero limitado superiormente por um teto e inferiormente por um muro, constituídos por formações de espessura relativamente reduzida e muito pouco permeáveis, um aquitardo, que permite a infiltração vertical

de água, embora muito lenta, que permite a alimentação do aquífero principal em questão, através de uma massa de água situada a cima e abaixo do mesmo.

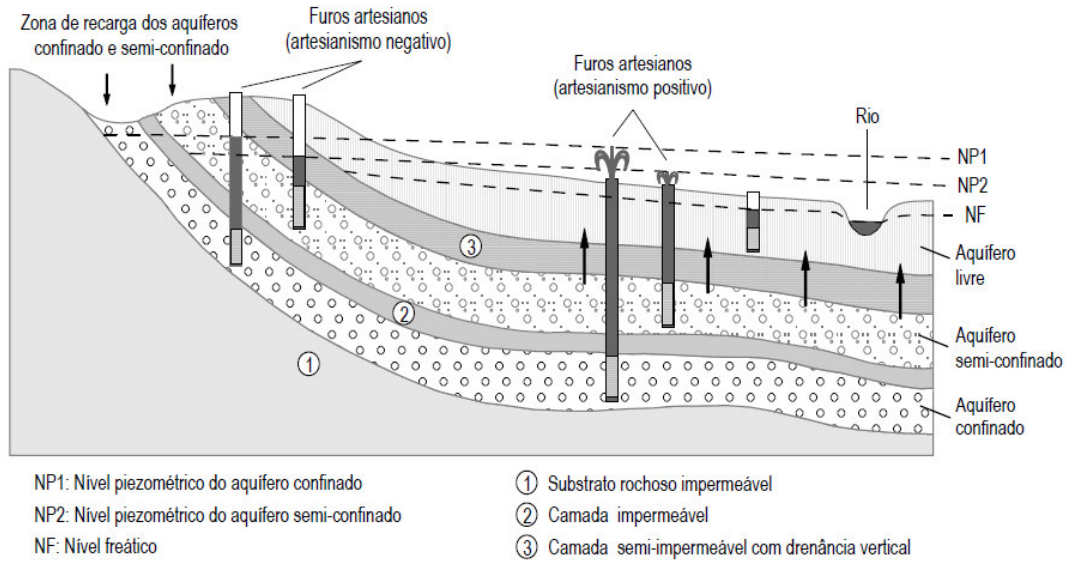


Figura 2.2 - Classificação dos aquíferos quanto à pressão (Ferreira et al., 2012).

Além das formações geológicas que constituem aquíferos, existem outras que não se comportam como tal, designando-se aquíclusos, aquífugos e aquíquardos, termos que têm os seguintes significados:

- (a) *Aquícluso*: formação geológica que, embora porosa e capaz de armazenar água, não a transmite (água não circula). É exemplo, uma formação constituída essencialmente por argilas.
- (b) *Aquífugo*: formação geológica impermeável, incapaz de armazenar e de transmitir água, como é o caso de um maciço granítico não alterado e sem fracturação.
- (c) *Aquíquardo*: formação geológica capaz de armazenar água, mas que a transmite muito lentamente, não sendo possível o seu aproveitamento direto. Em certas condições, estas formações podem tornar-se muito importantes, por permitirem a recarga vertical de aquíferos sub ou sobrejacentes. É, por exemplo, o caso de argilas arenosas.

A água subterrânea apresenta uma qualidade que pode variar desde a composição química distinta das águas que se infiltram, resultante da influência directa da composição das rochas e do tempo de permanência no aquífero.

A capacidade de armazenar a água (armazenamento hídrico) e permitir a circulação (condutividade hidráulica), permitem agrupar as formações e estruturas geológicas em quatro grandes tipos, segundo Singhal e Gupta, (1999):

- a) Rochas cristalinas – a ocorrência de água acontece em zonas de alteração física e química (diaclasses, falhas, planos de foliação).
- b) Rochas vulcânicas – a ocorrência de água acontece em zonas de alteração física e química (diaclasses, falhas, vesículas e descontinuidades entre camadas).
- c) Rochas carbonatadas – a água ocorre em descontinuidades (falhas, diaclasses, cavidades de dissolução).
- d) Rochas clásticas – a ocorrência de água acontece em espaços intragranulares (poros), diaclasses e falhas.

Como é possível verificar, a água subterrânea movimenta-se através dos espaços vazios interconectados no solo e do subsolo e ao longo de linhas de fratura das rochas.

Uma das propriedades mais importantes no meio poroso é a permeabilidade K definida pela lei de Darcy. A permeabilidade representa a capacidade de transportar os fluidos através da formação rochosa (Lima, 2007).

Em 1856, Henry Darcy desenvolveu esta relação básica realizando experiências com areia, concluindo que o fluxo de água através de um meio poroso é proporcional ao gradiente hidráulico, ou às diferenças de pressão, representado pela expressão 2.1:

$$q = k \frac{\partial h}{\partial x} \text{ e } Q = k \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2.1)$$

onde:

q - caudal de água ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$),

Q - fluxo de água por unidade de área (m s^{-1}),

A - área (m^2),

K - coeficiente de proporcionalidade, designado por condutividade ou permeabilidade hidráulica (m s^{-1}),

h - carga hidráulica

x - distância

A condutividade hidráulica das rochas depende do tipo de rocha, sendo maior em rochas sedimentares, como o arenito, e menor em rochas ígneas ou metamórficas, exceto quando estas são muito fraturadas, neste caso a sua condutividade pode ser relativamente alta (Fetter, 2001).

A relação entre a ocorrência e a potencialidade de acumulação de água num determinado aquífero cristalino depende das características das fraturas que podem estar associadas a um sistema de fracturação. As fraturas fortemente interligadas, são as mais favoráveis para a formação de aquíferos de elevado caudal, ou seja, a transmissividade da água num aquífero fraturado é condicionada pelo grau ou índice de fracturação e interconexão das mesmas.

Fraturas abertas que não são preenchidas com material da rocha meteorizada, são excelentes condutas da água subterrânea, mas a sua permeabilidade é fortemente reduzida quando as fraturas são preenchidas com material argiloso (Neves, 2004).

2.2.1. Recarga do Aquífero

A água que se infiltra e atinge a zona saturada de uma formação geológica constitui aquilo a que se chama a recarga aquífera. Estas formações geológicas que constituem os aquíferos, apresentam uma circulação subterrânea e a água que nelas existe acaba por ser descarregada, em grande parte através de locais da superfície terrestre como as nascentes, ou indo diretamente para as massas de água superficiais (rios, lagos, mares, etc.).

O escoamento superficial (hipodérmico) cessa ou diminui parcialmente pouco tempo depois da precipitação atmosférica ter terminado. Já o escoamento subterrâneo, sobretudo quando se dá através de terrenos pouco porosos ou pouco fissurados, ocorre com grande lentidão e pode continuar a alimentar os cursos de água, longo tempo após ter terminado a precipitação que o originou. Vislumbra-

se aqui uma das facetas mais vantajosas do aproveitamento da água subterrânea, cuja quantidade, qualidade e, sobretudo, persistência nos seus locais de origem, permitem contribuir para fornecer água que desapareceu há muito da superfície ou se esgotou por qualquer motivo. Sendo que, a água subterrânea corresponde a 97 % do total de água doce no planeta.

A recarga num aquífero é a quantidade de água que escoia verticalmente até atingir o nível freático, aumentando assim a quantidade de água subterrânea armazenada. Contribui para esta componente do ciclo hidrológico a infiltração da água que pode ter origem na chuva e na neve, na conectividade entre os lagos ou rios com aquíferos ou entre aquíferos.

No balanço hídrico do solo, a recarga é estimada a partir da seguinte expressão:

$$R = P - Es - ETR \pm \Delta s \quad (2.2)$$

onde:

R – Recarga,

P – Precipitação,

Es – Escoamento superficial,

ETR – Evapotranspiração real,

Δs – Variação do conteúdo de humidade no solo.

A recarga num aquífero é processada por meio de infiltração proveniente da precipitação, através do contacto com as rochas permeáveis, e pode ser definida como o processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo, se move para baixo através dos vazios pela ação da gravidade, até atingir uma camada impermeável, formando um aquífero.

Para que um determinado aquífero seja recarregado há vários fatores nomeadamente: porosidade, permeabilidade, condutividade, entre outros, que em conjunto se correlacionam.

2.2. Construção de um furo de captação de água

A construção de um furo de captação de água é um processo constituído por várias etapas, sendo elas: (a) estudo hidrogeológico da área em questão, (b) verificação de qual o método de perfuração a utilizar, (c) os diâmetros de perfuração, (d) a verticalidade e linearidade da perfuração, (e) realização de um furo de pesquisa, (f) amostragem, (g) medição dos níveis de água no furo, (h) controlo de qualidade da água, (i) transformação do furo de pesquisa em captação, (j) ensaio de caudal, (k) acabamento do furo, (l) equipamento de bombagem e manutenção e relatório final da obra. No entanto, tal como em qualquer outro tipo de obra, existe um enquadramento legal que define as regras a cumprir nas vertentes da construção, saúde e segurança e higiene no trabalho que devem ser rigorosamente cumpridas.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio, “*As atividades que tenham um impacto significativo no estado das águas só podem ser desenvolvidas desde que ao abrigo de um título de utilização emitido nos termos e condições previstos na Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro) e no Regime de Utilizações dos Recursos Hídricos.*”

Atualmente, compete à APA (Agência Portuguesa do Ambiente), que substituiu em 2012 a entidade ARH (ARH Norte, ARH Centro, ARH Tejo, ARH Alentejo, ARH Alentejo - Figura 2.3), acompanhar o cumprimento do estabelecido no Decreto-Lei 226-A/2007 para captação de água. De entre os requisitos impostos consta o pedido de licença de pesquisa de captação de água, pelo que só após esta autorização a empresa pode iniciar os trabalhos de construção do furo.

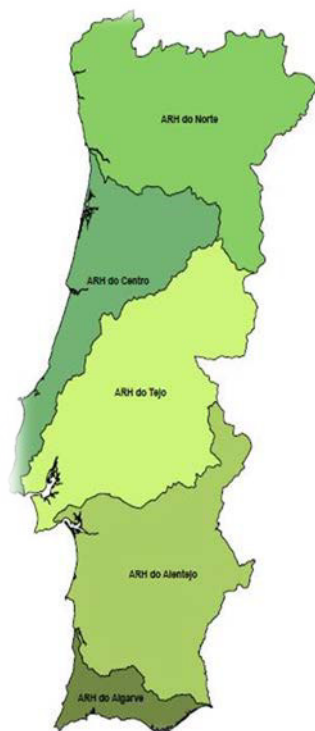


Figura 2.3- Divisão de Portugal Continental, consoante a área de atuação de cada entidade, ex-ARH, que foi substituída pela APA (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente – Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território).

Um aspecto a ter em conta na realização de um furo, é a empresa ter experiência no ramo e apresentar todas as licenças necessárias desde o alvará de construção ao alvará de exercício emitido pela ARH.

Todo o processo de realização da obra deve ter um acompanhamento permanente do dono de obra e dos sondadores. É igualmente importante ter, ao abrigo do disposto no Artigo 7º do Decreto-Lei nº 133/2005, de 16 de agosto, alterado pelo Decreto-Lei n.º 84/2011, de 20 de junho, que procede à simplificação dos regimes jurídicos da deposição de resíduos em aterro, da produção cartográfica e do licenciamento do exercício das atividades de pesquisa e captação de águas subterrâneas, o acompanhamento de um Engenheiro Geólogo ou Geólogo, com conhecimento de Hidrogeologia.

2.2.1. Estudo hidrogeológico prévio

Deverá ser feito um estudo hidrogeológico de âmbito regional e local, que contenha, o máximo de informação disponível, de modo a garantir com o maior sucesso os trabalhos de prospeção e pesquisa que se seguem. Este estudo hidrogeológico, quando possível, deverá incluir:

- a) Estudo da geologia regional da área escolhida, devendo seguir-se um estudo de detalhe, ou seja, passar-se para um estudo de âmbito local. Dado que a grande maioria das ocorrências hidrominerais estão localizadas no sistema fraturado, deverá ser realizado um estudo geológico-

- estrutural detalhado, para se definirem os vários sistemas de fracturação responsáveis pela circulação da água mineral natural;
- b) Estudo geomorfológico da região para fornecer informações geológico-estruturais e permitir o conhecimento da rede hidrográfica;
 - c) Estudo hidrológico da região para fornecer informações importantes relativos ao ciclo hidrológico de uma determinada região tais como a precipitação, evapotranspiração, escorrência e da infiltração;
 - d) Inventário e reconhecimento dos pontos de água da área onde se pretende fazer o reconhecimento;
 - e) Caracterização pormenorizada das características físico-químicas dessas águas.

O conhecimento de todos estes parâmetros garantem o sucesso dos trabalhos de prospeção realizados posteriormente e, ainda, numa fase preliminar, fornecer informação ao dono da obra acerca da profundidade que o furo atingirá, bem como o caudal que será esperado obter, permitindo também, uma avaliação em relação ao custo benefício. Os trabalhos de reconhecimento podem ser melhorados e de certo modo esclarecer algumas dúvidas quando se utilizam em paralelo trabalhos de geofísica, como é o caso da prospeção elétrica.

Um furo de captação de águas subterrâneas é uma obra complexa que se realiza no subsolo quase sempre fora da vista dos intervenientes na sua construção. Segundo Ferreira et al., (2012), um furo de captação bem projetado/dimensionado deverá assegurar:

- a) A extração do caudal pretendido, com os menores impactos possíveis ao nível de eventuais contaminações e rebaixamentos exagerados;
- b) Água com a qualidade adequada, para o fim pretendido.
- c) A proteção do aquífero de possíveis fontes de contaminação
- d) Um custo total de construção e de exploração razoável a curto e médio prazo.
- e) Um período de vida útil médio de 25 anos.

Após o conhecimento hidrogeológico mais alargado da zona é possível identificar quais os métodos que vão ser aplicados na perfuração. Em seguida, referem-se alguns dos principais aspetos que deverão ser considerados na construção de um furo.

2.2.2. Métodos de perfuração

São vários os métodos de perfuração para a construção de furos de captação de águas subterrâneas. A escolha do método de perfuração não pode ser realizada de forma aleatória, ou seja, a escolha de cada método de perfuração depende essencialmente das formações geológicas presentes no local de construção, bem como de outros fatores, tais como; a finalidade pretendida, a profundidade que se pretende atingir e ainda de o fator económico.

Existem vários métodos de perfuração, no entanto os principais são os seguintes:

- a) Percussão (atualmente já em desuso).
- b) Rotação com:
 - a. Circulação direta

b. Circulação inversa

c) Rotopercussão – percussão pneumática com “martelo de fundo de furo”

Durante todo o estágio, e pelo fato de o método da Percussão já estar um pouco em desuso, todas as obras realizadas pela empresa, e as quais eu tive a possibilidade de acompanhar, utilizaram o método de perfuração por rotação com circulação direta ou com circulação inversa e também a Rotopercussão. Deste modo, apenas serão discutidos estes dois últimos métodos.

2.2.2.1. Perfuração por rotação

O método da perfuração por rotação, também designado “Rotary” (terminologia inglesa), tem por base triturar e desgastar as formações litológicas, reduzindo-as a pequenas partículas com a ajuda de um trépano giratório. Os movimentos rotativos do trépano são acompanhados pela circulação de um fluido (lamas). As lamas são constituídas por misturas mais ou menos estáveis, densas e viscosas, à base de bentonite e de outras substâncias com água, cuja função é remover e trazer os detritos da perfuração até à superfície, bem como, assegurar a sustentação das paredes da perfuração e lubrificar e arrefecer as ferramentas cortantes. Este método pode ser realizado de duas formas, ou seja, com circulação direta ou com circulação inversa.

Perfuração por rotação com circulação direta

Na figura 2.4, está representado de forma esquemática todo o processo de perfuração por rotação com circulação direta

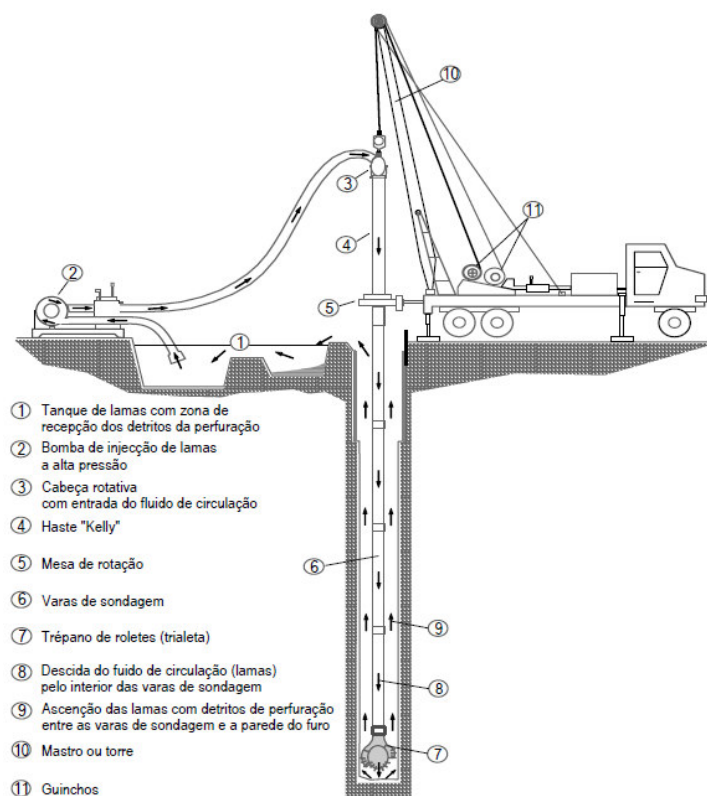


Figura 2.4 - Perfuração pelo método de rotação com circulação direta (Ferreira et al., 2012).

A principal diferença entre circulação direta e inversa, a nível prático, é a forma como as lamas são introduzidas no furo. No caso da circulação direta, as “lamas” são injetadas pelo interior da cabeça da

sonda, por ação de uma bomba de alta pressão. As lamas saem no fundo do furo pelos orifícios do trépano (trépano de roletes (tricone) ou trialeta). Seguidamente, as “lamas” ascendem pelo espaço compreendido entre a parede exterior das varas de perfuração e as paredes da sondagem, arrastando consigo os detritos da formação perfurada até à superfície.

As principais vantagens do método são:

- a) Eficácia em formações geológicas não consolidadas, acompanhada de um pequeno risco de colapso do furo, evitando-se muitas vezes a utilização de revestimentos provisórios;
- b) Permite avanços relativamente rápidos;
- c) Perdas de fluido de circulação controláveis;
- d) Maior facilidade de controlo das propriedades das lamas bentoníticas (como a viscosidade e peso específico).

Tal como em todos os métodos, este apresenta também algumas desvantagens, tais como:

- a) Equipamento dispendioso,
- b) Apresenta custos adicionais resultantes do tempo despendido em manobras de descida e subida,
- c) Caracterização da amostragem de formações geológicas dificultada pelo remeximento e pelo atraso em relação ao avanço da perfuração, o que pode conduzir a medições deficientes das profundidades de posicionamento dos tubos-ralo,
- d) Pode induzir a impermeabilização e a contaminação das formações produtivas,
- e) Alguma dificuldade em manter a direção de perfuração, exigindo uma boa técnica de execução.

Perfuração por rotação com circulação inversa

Na figura 2.5, está representado o método de rotação com circulação inversa.

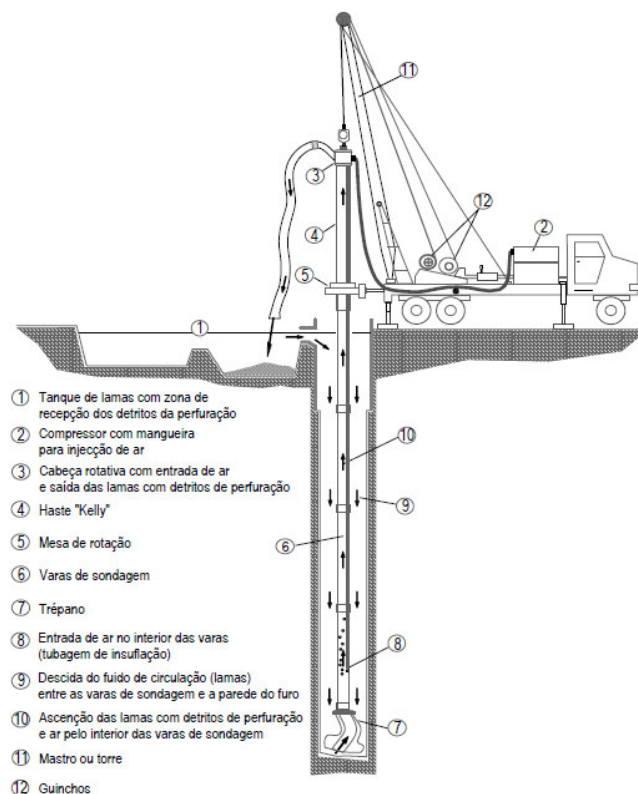


Figura 2.5 - Perfuração pelo método de rotação com circulação inversa (Ferreira et al., 2012).

Na circulação inversa o processo ocorre exatamente ao contrário do que acontece na circulação direta, ou seja, as “lamas” descem diretamente do respetivo tanque até ao fundo do furo, através do espaço compreendido entre a parede exterior das varas de perfuração e as paredes da sondagem (espaço anelar). Quando chegam ao fundo do furo, a ascensão das “lamas” e dos detritos efetua-se, com ajuda de ar comprimido, pelo interior das varas que constituem a coluna de perfuração, formando-se uma emulsão ar-lamas de menor densidade. Durante a perfuração, esta ascensão da mistura de lamas, ar e detritos das formações perfuradas é mantida em equilíbrio com o volume de lamas do tanque.

Comparando este método com o método de rotação com circulação direta, identificam-se como principais vantagens:

- a) Permite a execução de furos de maior diâmetro e geralmente mais produtivos,
- b) Elevada capacidade de remoção dos detritos de perfuração, o que permite avanços mais rápidos,
- c) Boa qualidade da amostragem (boa representatividade da amostra relativamente à profundidade de perfuração e a tempo real),
- d) Não afeta tanto os aquífero,
- e) É muito mais eficaz quando se pretende grandes diâmetros.

As principais desvantagens são:

- a) Equipamento de maiores dimensões,
- b) Necessidade de maior número de operadores,
- c) Necessidade de um tanque de lamas maior e consumo de água mais exigente face ao elevado débito de injeção,
- d) Estaleiro com maior área,
- e) Perdas elevadas de fluido de circulação, em certas formações, o que pode perturbar ou deteriorar as zonas produtivas,
- f) Risco de entupimento das varas por detritos de grande diâmetro.

2.2.2.2. Perfuração por rotopercussão

O método da perfuração por rotopercussão, ou também designado percussão pneumática com martelo fundo de furo, baseia-se numa ação de esmagamento e corte provocada por uma ferramenta acionada por ar comprimido, em que se pode combinar um pequeno movimento de rotação de um “bit” (broca) transmitido pelas hastes de perfuração e um movimento de percussão de elevada frequência e de pequeno curso, dado por um martelo de fundo de furo.

Neste método não existe a necessidade de utilização de lamas, visto que, o fluido de circulação pode ser o próprio ar comprimido, produzido a partir de um compressor, que é transmitido pelo interior da coluna de perfuração, passando pelo martelo e “bit”, servindo também como fluido de limpeza. Para resolver problemas de limpeza e/ou de instabilidade das paredes de perfuração, podem ser adicionadas “espumas” no fluido de circulação, para diminuição do seu peso específico, sendo um complemento à utilização de ar comprimido.

Na figura 2.6, está representado o método de perfuração por rotopercussão com martelo fundo de furo.

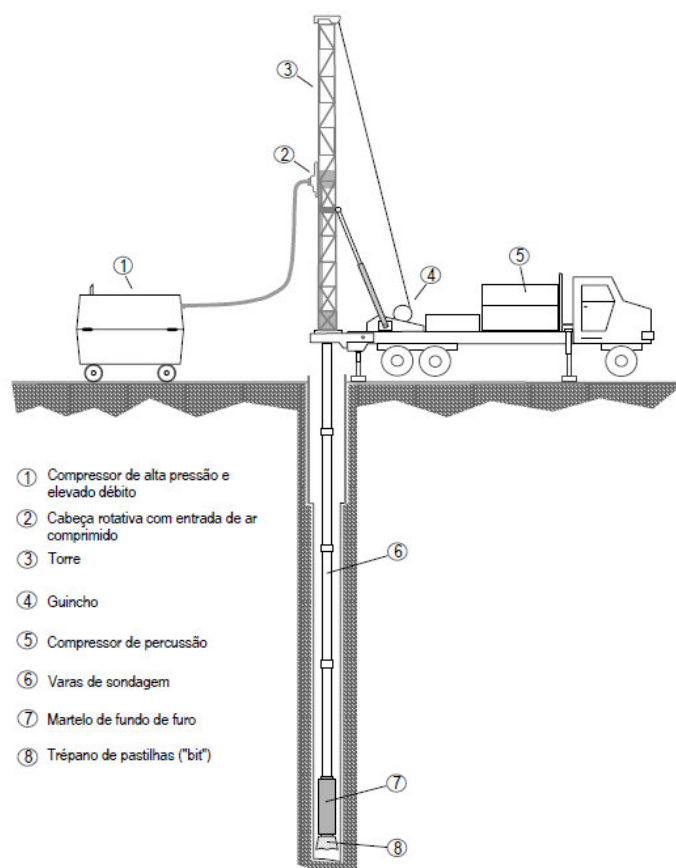


Figura 2.6- Perfuração por rotopercussão com martelo de fundo de furo (Ferreira et al., 2012).

Como principais vantagens do método temos:

- a) Elevada eficácia em rochas duras e consolidadas, como é o exemplo dos granito e xistos, garantido rapidez de perfuração/remoção dos detritos,
- b) Permite estimar a produtividade das formações aquíferas durante a perfuração,
- c) Não provoca a impermeabilização das zonas produtivas,
- d) Redução de custos pela elevada rapidez de perfuração,
- e) Em regra, não necessita de água,
- f) Amostragem com pouco atraso relativamente ao avanço da perfuração.

Como principais desvantagens é de referir as seguintes:

- a) Só é eficaz em formações consolidadas,
- b) Trata-se de um método destrutivo relativamente à amostragem (amostragem deficiente),
- c) Conseguem-se, geralmente, furos com diâmetros mais reduzidos do que nos outros métodos,
- d) Dificuldade em manter a direção da perfuração.

2.2.3. Diâmetros de perfuração

Os diâmetros de perfuração dependem do tipo de litologias encontradas e do método utilizado. Como foi já referido anteriormente, em rochas cristalinas, utilizando o método da rotopercussão, os diâmetros de perfuração vão ser inferiores aos utilizados quando se trata de sedimentos não consolidados, utilizando nestes casos o método da rotação (quer seja por circulação direta ou inversa).

Para além do tipo de litologia, existem outros fatores que devem ser tidos em conta na escolha do diâmetro de perfuração, tais como, o diâmetro de bombagem, a coluna de revestimento definitivo do furo e, se necessário do maciço filtrante. Quando se realiza previamente um furo de pesquisa, não é necessário saber qual o diâmetro definitivo de perfuração, pois este pode ser determinado posteriormente com rigor.

A perfuração, dependendo do método utilizado e do tipo de litologia encontrada, pode ser realizada com quatro peças: tricone, trialeta, Bicão e bit (martelo), figura 2.7.



Figura 2.7- (A, B) Tricone (dentes tungsténio ou aço) –; (C) Bit; (D) Trialeta; (E) Bicão.

O tricone (Figura 2.7 A e B) pode apresentar dentes de tungsténio ou de aço. Utiliza-se o tricone com dentes de tungsténio (botões redondos) quando a geologia encontrada é por exemplo seixo. Quando o que se pretende perfurar é rocha ou argilas muito compactas então usa-se o tricone com dentes de aço (botões aguçados). Quando as argilas são friáveis não se pode utilizar o tricone pois corre o risco deste empapar.

O martelo é utilizado em rochas duras, como por exemplo o granito, xisto, etc. O martelo é constituído por duas partes, o corpo e o bit que é a parte que bate diretamente na rocha (Figura 2.7 C). O martelo é utilizado no método da rotopercussão, no entanto, pode também ser utilizado em rotopercussão inversa (pouco utilizado).

A trialeta (Figura 2.7 D) é utilizada principalmente em calcários muito alterados. Nestas situações não se deve utilizar o martelo nem o tricone pois correm o risco de empapar.

O bicaço (Figura 2.7 E) é semelhante à trialeta, no entanto, tem apenas dois braços em vez de três, é utilizado em material pouco compacto, como por exemplo as areias.

2.2.4. Verticalidade e linearidade da perfuração

Na gíria, é comum falar-se em captações de água verticais, sendo mesmo de facto as mais comuns. No entanto, as captações de água não têm necessariamente que ser verticais, uma vez que é possível realizar perfurações em todas as orientações, podendo mesmo ser horizontais.

Devem ser evitadas variações acentuadas de direcção, garantindo sempre que possível a verticalidade da perfuração e da coluna de revestimento definitivo da captação. Estas variações de direcção podem ocorrer quando se aplica peso incorreto sobre a ferramenta de corte, ou quando se perfuram formações geológicas intensamente calcificadas, fissuradas ou com camadas muito inclinadas. Se as variações de direcção forem grandes, surgirão dificuldades na colocação da coluna de revestimento abaixo da profundidade definida pelo ponto de inflexão. Caso tais variações não sejam excessivas, podem ser parcialmente corrigidas com a aplicação de centralizadores na tubagem da coluna de revestimento ou por métodos especiais de perfuração utilizando varas com retificadores.

Terminados os trabalhos de perfuração e após aplicação da tubagem de revestimento do furo, a prova de linearidade pode ser efetuada com recurso a equipamento de diagrfias ou, de forma mais hábil, descendo um cilindro de prova, constituído por um troço de tubo de 6 m de comprimento com diâmetro ligeiramente inferior ao diâmetro interior daquela tubagem.

2.2.5. Furo de Pesquisa

A fase de pesquisa é realizada após a fase do estudo hidrogeológico. Este estudo pode ser realizado ou não, e serve para completar ou apenas confirmar os dados obtidos nesse estudo.

A realização de um furo de captação de águas subterrâneas é sempre antecedida da fase de pesquisa e tem que obedecer a algumas exigências construtivas a que a legislação obriga (Decreto-Lei nº 226-A/2007, de 31 de Maio), tais como: (a) não ocorrer a contaminação das águas subterrâneas por águas superficiais ou (b) não ocorrer contaminação por quaisquer elementos que existam na zona onde o furo está a ser aberto tais como fertilizantes, produtos fitofarmacêuticos, descargas de efluentes de origem humana ou animal, descargas industriais, lubrificantes, combustíveis, etc..

O incumprimento deste dever legal, pode dar origem, pelas entidades competentes, ao levantamento de processos de contraordenação bastante gravosos ou mesmo na inutilização forçada da captação com selagem, pelo facto de poder provocar degradação da qualidade de um recurso hídrico.

A captação de água pode ser destinada para diferentes fins (exemplo: consumo, rega, etc). Quando se destina ao consumo humano deve ser garantido que o material utilizado na perfuração não provoca alterações na qualidade microbiológica ou química da água. Assim, e em conformidade com o previsto no Decreto-Lei nº 226-A/2007 de 31 de maio, e na Portaria nº 1450/2007 de 12 de novembro, deve o Dono da Obra solicitar ao Empreiteiro a utilização de materiais aprovados para estar em contacto com a

água, exigindo ao mesmo um documento comprovativo de que todos os materiais/produtos utilizados na fase de execução do furo, nomeadamente a tubagem, o equipamento de bombagem e o material de isolamento são adequados a essa finalidade.

O diâmetro de perfuração de um furo de pesquisa pode ser realizado com um diâmetro o mais reduzido possível, permitindo assim, aquando a realização do furo de captação já serem conhecidas as possíveis potencialidades da captação.

Se o método de perfuração utilizado for o de rotopercussão, é possível durante as operações ter uma ideia muito aproximada dos caudais das diversas unidades aquíferas ou níveis produtivos que vão sendo atravessados. Pelo contrário, se o método de perfuração utilizado for o de circulação com lamas, a correta perceção desses caudais só é possível com a execução de diagrfias geofísicas ou com ensaios de caudal posteriores. No entanto, um técnico experiente na observação e classificação de amostras, tendo em conta informações do sondador, pode ter uma ideia preliminar da produtividade do furo e prestar outras informações úteis, como a posição e potência da bomba de extração, posição dos ralos de entrada de água, zonas a preencher com areão ou seixo drenante (maciço filtrante) e zonas a isolar ou a colmatar, sendo estes assuntos abordados em subcapítulos mais á frente.

Quando se chega ao final da pesquisa e os resultados não são os desejados, então os trabalhos terminam com a selagem da sondagem, evitando mais perdas financeiras. Pelo contrário, se a pesquisa evidenciar que a futura captação atinge os objetivos desejados, quer em quantidade, quer em qualidade da água, o diâmetro da perfuração deverá ser alargado convenientemente, desta vez com a certeza de que o investimento será mais seguro, pois os riscos de insucesso foram em grande parte eliminados.

2.2.5.1. Amostragem do material perfurado

Sempre que se faz uma sondagem, quer seja de pesquisa ou de captação com o diâmetro final, serão recolhidas amostras em intervalos regulares, geralmente de 3 em 3 metros, ou sempre que o terreno atravessado varie significativamente nas suas características. Estas amostras deverão estar separadas por um pequeno espaço para evitar que se misturem e ser colocadas em lugar protegido da passagem de viaturas ou pessoas (ou animais) e da chuva. A cada amostra deve corresponder uma etiqueta numerada, com as profundidades inicial e final a que foi obtida (Figura 2.8).



Figura 2.8 - Disposição no terreno das amostras das formações geológicas atravessadas e respetivas etiquetas.

A recolhas destas amostras serve principalmente para que o Técnico responsável pela obra (Decreto-Lei nº 133/2005, de 16 de agosto, alterado pelo Decreto-Lei nº 84/2011, de 20 de junho) possa, caso não tenha sido realizadas diagrfias, definir a posição e características dos ralos a intercalar na coluna de revestimento definitivo, o tipo de seixo a ser colocado entre a coluna e o terreno, assim como definir a(s) zona(s) a isolar para evitar contaminações indesejadas (Decreto-Lei nº 226-A/2007, de 31 de maio).

As amostras devem ser preservadas numa caixa com divisões e respetivas etiquetas acima referidas e entregues ao dono da obra, podendo futuramente ser de muita utilidade em casos de degradação da captação de que resulte necessidade de qualquer peritagem sobre as situações anómalas que eventualmente se venham a detetar.

É importante referir que variações significativas no tempo de avanço das varas de perfuração indicam muitas vezes mudanças de litologia e/ou presença de cavidades que ocorrem em profundidade.

2.2.5.2. Medição dos níveis de água no furo

A medição dos níveis de água no poço nem sempre se torna uma tarefa fácil ou mesmo possível de realizar. Dependendo do tipo de método de perfuração que se utiliza, essa tarefa vai ser mais fácil ou não de realizar.

Se o método utilizado na obra for rotopercussão, os níveis de água no furo devem ser medidos sempre que haja essa possibilidade, por exemplo no início de cada dia de trabalho ou quando exista por algum motivo uma paragem nos trabalhos e o permita fazer. No entanto, para além dos níveis de água, quando é utilizado este processo de perfuração, deve ser medido com regularidade o caudal “espontâneo” fornecido pelo furo. Para cumprimento de tais medições logo que se intersetem níveis produtivos, devem ser tomar medidas nesse sentido logo que a perfuração se inicie.

Se o método de perfuração utilizado for o de rotação com circulação direta ou inversa de “lamas”, essas medições são quase sempre impossíveis. Sendo assim, cabe ao operador da máquina anotar as profundidades a que se verificam perdas de lamas durante a perfuração, bem como a profundidade do nível de lamas no interior do furo no início de cada dia de trabalho. Esta tarefa é importante, pois, por vezes, há uma indicação de produção de água pela diluição das lamas cuja densidade e viscosidade deve ser verificada no dia de reinício da perfuração.

Um aspeto muito importante e que deve ser cumprido é, durante a perfuração devem também ser apontadas regularmente as variações significativas da densidade e de viscosidade das lamas, e registados os tempos de avanço de cada vara de perfuração.

2.2.5.3. Controlo da qualidade da água

O controlo da qualidade da água é um parâmetro que nem sempre é fácil de cumprir, isto pelo facto, como também foi referido anteriormente, dependendo do tipo de método de perfuração é que é possível ou não fazer tais medidas. Deste modo, e como foi referido, visto que o método da rotopercussão é o que permite fazer tais medidas, sempre que é atravessada uma formação aquífera, deve proceder-se ao controlo da qualidade da sua água através da medição “*in situ*” de parâmetros físico-químicos, tais como:

- a) Condutividade elétrica e/ou sólidos totais dissolvidos,
- b) pH,
- c) Temperatura,
- d) Nitratos e fosfatos (indicadores de contaminação antropogénica).

A exploração da água de um furo poderá destinar-se ao consumo humano, pelo que a avaliação da sua qualidade deve ter em conta os valores limites constantes do Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de agosto, que estabelece o regime de qualidade da água para esse fim. Se a água se destinar a outra utilização dever-se-á considerar o preceituado no Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto, que estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com vista à proteção do meio aquático e a melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

2.2.6. Transformação do furo de pesquisa em captação

Concluídos os trabalhos de pesquisa, e depois de verificar que os resultados obtidos foram satisfatórios, inicia-se a fase de transformação do furo de pesquisa em captação definitiva.

A transformação do furo de pesquisa em captação definitiva começa com o eventual alargamento do furo de pesquisa, devendo o diâmetro final da perfuração permitir a colocação da coluna de revestimento definitivo, do maciço filtrante (se necessário) e do equipamento de bombagem.

Quanto ao alargamento do diâmetro de perfuração, nem sempre se começa com diâmetros menores para depois haver um alargamento, em zonas que se conhece o sistema hidrogeológico perfura-se logo com o diâmetro pretendido no final do furo.

2.2.6.1. Revestimento definitivo do furo

Esta fase de revestimento definitivo do furo é muito importante em todo o processo de captação de água subterrânea, tendo como principais objetivos:

- a) Prevenir o colapso das paredes da perfuração,
- b) Proteger o equipamento de bombagem,
- c) Isolar certos níveis que não interessam ou sejam inconvenientes dos que se pretendem explorar, servindo em muitos casos serve como filtragem.

O revestimento do furo vai depender das formações geológicas atravessadas pelo mesmo. Nas formações geológicas compactas (rocha com coesão) desde que haja estabilidade das paredes da perfuração não é necessário revestir a captação (entubar), ficando o furo sem revestimento ou em “openhole” (Ferreira et al., 2012). Nestes casos recomenda-se, para salvaguarda do equipamento de bombagem, que se proceda apenas ao entubamento da câmara de bombagem.

Quando a situação encontrada é a existência de instabilidade das formações geológicas, é necessário revestir a captação com uma coluna de revestimento que é constituída por troços de tubo fechado (também chamado tubo cego) e por troços de tubo-ralo (tubo com aberturas que permitem a passagem de água do aquífero para o interior da captação) (Ferreira et al., 2012).

A definição da coluna de revestimento (colocação do tubo fechado e do tubo ralo) deve basear-se na série litológica atravessada pela perfuração (análise das amostras). No entanto, por vezes dispõe-se também de informação obtida a partir de ensaios granulométricos e da execução de diagrfias (medição

do potencial espontâneo, resistividade elétrica e radiação gama). Segundo Ferreira et al, (2012), esses ensaios granulométricos e diagrfias são particularmente aconselháveis nas sondagens por rotação. Sendo por vezes a sua realização condicionada pelo fator económico.

Cada captação é um caso, deste modo deverá ser selecionado o tipo de material a utilizar no revestimento da mesma, assim como os diâmetros da tubagem adequados. Esta seleção depende de vários fatores, tais como:

- a) Características físico-químicas da água a explorar,
- b) Profundidade e diâmetro da captação,
- c) Tipo de deformação aquífera,
- d) Custo desse revestimento.

O material do revestimento deverá apresentar propriedades (tais como, composição e resistência mecânica) que permitam suportar, sem deformação significativa ou rutura, a pressão exercida pelas formações geológicas circundantes, as pressões resultantes, quer da sua colocação no furo, quer das operações de limpeza e desenvolvimento da captação, assim como, resistir à corrosão resultante das características físico-químicas da água e das próprias formações geológicas.

Existem diferentes tipos de materiais, destacando-se, entre os mais utilizados, o PVC (normal ou especial), o ferro fundido, o aço Norma DIN 2458 (aço ST 70) e o aço inoxidável (aço inox AISI 304 e 316). Estes materiais encontram-se disponíveis no mercado, a preços muito distintos, em troços de tubagem com diferentes comprimentos, diâmetros e espessura de parede (resistência mecânica), pelo que na definição e seleção da coluna de revestimento deve ser encontrada uma solução de compromisso/equilíbrio entre o seu custo e a sua qualidade/ durabilidade.

O diâmetro da tubagem de revestimento pode ser igual para toda a coluna ou pode apresentar uma ou mais reduções sucessivas. Quando a situação é com reduções, o revestimento é do tipo telescópico, sendo a ligação entre os troços de tubagem de diferentes diâmetros feita através de cones de redução.

Como era de esperar, os diâmetros da tubagem de revestimento estão relacionados com os diâmetros de perfuração, dependendo ambos do caudal de exploração previsto. Regra geral aplica-se a seguinte equação:

$$\text{Diâmetro da tubagem (polegadas ("))} = \text{Diâmetro de perfuração} - 6''$$

A seleção do diâmetro da tubagem de revestimento deverá ter em consideração as dimensões do equipamento de bombagem, permitindo que este seja instalado com facilidade (colocado no interior da captação), removido com facilidade (em caso de avaria ou necessidade de manutenção da bomba) e que opere com eficiência. Na prática evita-se assim não só o choque da bomba com esse revestimento nos momentos de arranque, mas também o contacto daquele equipamento com o revestimento.

Deve existir uma especial atenção para o diâmetro do tubo de revestimento, pois este tem de ter em conta a colocação do sistema de bombagem, sendo de referir que, em regra, o diâmetro da bomba deve ser pelo menos 2" (cerca de 5.1 cm) inferior ao diâmetro interno da tubagem de revestimento. No

entanto por norma existem furos a ser entubados a 125 mm e a 140 mm, para colocação de bombas de 4" (110 mm). Contudo os valores de segurança devem ser considerados para evitar posteriormente um estrangulamento da bomba.

Quando se utiliza tubagem em PVC, esta não deverá ter uma resistência inferior a 10 kg/cm². A resistência que se deve ter em conta é sempre externa, pois num furo as pressões exercidas pelo terreno são as que podem por em causa a segurança do mesmo e não as pressões interiores. No entanto, se a profundidade do furo atingir mais de 150 a 200 m deve ser ponderado o revestimento do furo com PVC reforçado ou com tubagem em aço cuja espessura aumenta com o aumento do seu diâmetro. Por exemplo, se a tubagem em aço aplicada tiver diâmetros exteriores de 203 mm ou de 273 mm, as espessuras mínimas deverão ser de 6.35 mm e de 7.79 mm, respetivamente.

Aquando a colocação da tubagem, as uniões entre os diferentes troços de tubagem podem ser roscadas, rebitadas, ou soldadas. No caso da tubagem em PVC, considera-se preferível que as ligações sejam do tipo roscado, em vez dos rebites utilizados habitualmente. Contudo, caso se opte por uniões rebitadas deve usar-se sempre rebites em inox. No caso dos tubos roscados, é importante que se aumente o material no sítio da rosca, de forma a não perder resistência. Relativamente à tubagem em aço, caso se decida por uniões soldadas em vez de roscadas, a liga de soldadura deve ser igual à liga metálica da tubagem.

2.2.6.2. Tubos-Ralos

Quando se realiza o revestimento do furo deve-se ter especial cuidado, pois o rendimento da captação depende da correta seleção do tipo de tubo ralo, da sua dimensão e posicionamento. Os tubos-ralo são as zonas de entrada de água para a captação, ocorrendo essa passagem através de aberturas ("slots"), rasgos, ranhuras ou fendas existentes na parede do tubo e que correspondem à designada "área aberta".

Além das características que são comuns aos tubos cegos ou não abertos (composição, diâmetro e espessura da tubagem), há ainda outras características a ter em conta tais como a área aberta total, o tamanho e a geometria das ranhuras. São vários os tubos ralos utilizados, no entanto de entre os utilizados e tendo em conta o tipo de rasgo, os mais utilizados são os seguintes:

- a) Do tipo ranhurado (de fenda vertical, oblíqua ou horizontal, sendo esta última a mais comum);
- b) De estrutura em ponte;
- c) De fenda contínua;
- d) De areão aglomerado (pré-filtro) (Figura 2.9).



Figura 2.9 - Tubo Georoscado de areão aglomerado.

Os rasgos dos furos podem ser feitos em obra com uma rebarbadora. A aplicação deste método contudo não assegura uma uniformidade na dimensão dos rasgos e principalmente nunca se consegue obter

slots muito pequenos. Deste modo, os rasgos dos tubos-ralo devem ser feitos na fábrica de origem e nunca na obra, de forma a garantir as suas características em termos de abertura e comprimento, e também garantir que aqueles tubos tenham uma resistência à pressão semelhante à dos tubos cegos (fechados) utilizados no revestimento do furo. Por outro lado, os rasgos feitos em fábrica, sendo muito mais regulares na sua dimensão, evitam, com maior eficácia, a passagem de areias e de pequenas partículas rochosas que poderão prejudicar a bomba ou entupir esses mesmos rasgos (Figura 2.10).

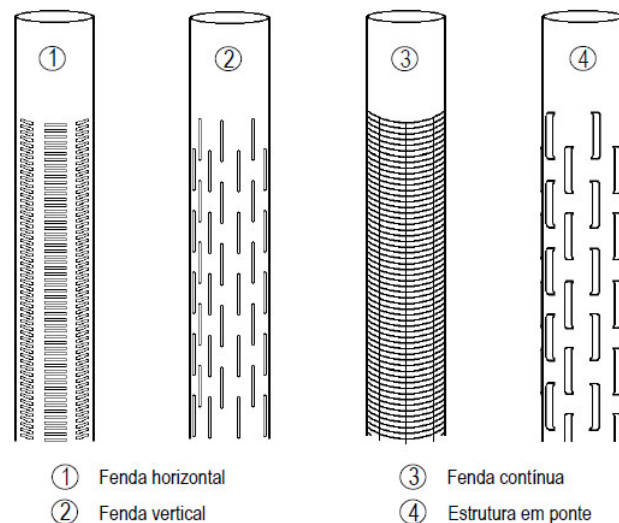


Figura 2.10 – Alguns tipos de rasgos dos tubos-ralo (Ferreira et al., 2012).

O tamanho das aberturas dos tubos-ralo deve ser escolhido em função da granulometria do material que constitui a formação aquífera e da granulometria do maciço filtrante. A área aberta dos tubos-ralo deverá permitir a entrada de água ao redor de todo o perímetro dos mesmos.

A área aberta dos tubos-ralo e o seu comprimento deverão ser selecionados de forma a assegurar a obtenção do máximo caudal de entrada de água na captação em regime laminar, com retenção das partículas finas. Os tubos-ralo devem ser colocados em frente das camadas aquíferas mais produtivas (de maior condutividade hidráulica) e cuja água tenha a qualidade pretendida para o fim a que se destina e sempre abaixo do nível hidrodinâmico previsto.

A definição das profundidades de colocação dos tubos-ralo está, portanto, relacionada com as profundidades a que se interseccionam as zonas produtivas dos aquíferos. As zonas produtivas dos aquíferos podem ser identificadas através da interpretação dos dados da perfuração (registados pelo sondador), da análise das amostras da perfuração, da realização de diagrfias, de perfis de temperatura e de certos parâmetros físico-químicos e de ensaios granulométricos, no caso de formações sedimentares não consolidadas.

Os tubos-ralos devem estar sempre submersos, deste modo, o seu comprimento e posicionamento dependem do nível hidrodinâmico ou do rebaixamento que se pode causar ao nível hidrostático e da espessura produtiva e da estratificação do aquífero.

Quando o topo dos ralos se posicionam acima do nível hidrodinâmico, além da perda de eficiência da captação, o contacto alternado do material que os constitui, ora com água ora com ar, provoca a prazo a sua deterioração.

Em camadas aquíferas de grande espessura devem intercalar-se tubos fechados com os tubos-ralo para não diminuir a resistência do revestimento e para diminuir o custo da obra.

Segundo (Ferreira et al., 2012), a melhor relação entre o custo (do tubo-ralo) e o benefício (caudal captado) é obtida:

- Nos aquíferos livres, colocando os tubos-ralo a ocupar cerca de metade a um terço da espessura do aquífero.
- Nos aquíferos confinados, colocando os tubos-ralo a cobrir cerca de 80% a dois terços da espessura do aquífero.

2.2.6.3. Centralizadores

Os centralizadores têm uma função muito importante que é centrar a coluna de revestimento no furo. Regra geral, é aconselhada a sua colocação em intervalos regulares e com espaçamento adequado, de forma a conservar esta coluna com um afastamento constante da parede do furo, evitando o seu encosto à formação geológica e quaisquer possíveis deformações. Facilitando posteriormente a colocação do seixo calibrado que constitui o maciço filtrante, assim como eventuais operações posteriores de manutenção do furo.

Os centralizadores devem ser do mesmo material usado na coluna de revestimento da captação. É considerada como medida correta um espaçamento entre centralizadores de 12m. Apesar de ser aconselhado a utilização de pelo menos um centralizador em cada tubo-ralo (Figura 2.11).



Figura 2.11 - Centralizador colocado num tubo em PVC Georoscado Estriado.

2.2.6.4. Maciço filtrante

O maciço filtrante é colocado entre a tubagem de revestimento e as paredes do furo, sendo constituído essencialmente por seixo quartzoso devidamente lavado, calibrado e com esfericidade e

arredondamento elevados. Um aspeto a ter em atenção é para o fato de nunca se utilizar brita calcária, uma vez que é facilmente dissolvida.

O maciço filtrante tem como principais funções:

- a) Evitar a passagem para dentro do furo de areias finas e de argilas que podem colmatá-lo e provocar avarias na bomba, por vezes irremediáveis, durante a fase de exploração da captação,
- b) Amortecer as vibrações da bomba nos momentos de arranque ou de paragem,
- c) Envolver a coluna de revestimento, protegendo-a e conferindo-lhe resistência,
- d) Proporcionar um bom suporte ao material isolante que reveste o furo em determinadas profundidades e serve de proteção contra contaminações superficiais ou de outros níveis aquíferos cuja exploração não é conveniente.

O maciço filtrante deve ser colocado uniformemente no espaço anelar existente entre a coluna de revestimento definitivo e as paredes da perfuração e ao longo da zona de captação (onde se encontram os tubos-ralos). Em cada troço de tubo-ralo, o maciço filtrante deve exceder ligeiramente o seu comprimento, na base e no topo.

A colocação deste maciço filtrante deve ser feita lentamente e de forma constante para que o mesmo fique perfeitamente acamado e contínuo. Quando colocado com muita rapidez, pode acontecer que essa continuidade seja afetada por zonas vazias, sem seixo, colocando em perigo a resistência do revestimento sobretudo quando o mesmo é de PVC pouco resistente. Assim, a operação de descida do areão apenas deve ser interrompida para controlo do nível atingido por este.

O volume de areão a aplicar deverá ser sempre igual ou superior à diferença entre o volume cilíndrico correspondente à perfuração e o volume cilíndrico da coluna de revestimento no troço definido para o maciço filtrante. Em algumas situações é natural que o volume teórico assim calculado seja largamente ultrapassado pelo volume efetivo de areão necessário, o que significa, dadas as características das formações geológicas atravessadas, que o diâmetro nominal da perfuração desenvolveu lateralmente mais espaço ou que existem zonas ou níveis de perda (como as cavidades). Já quando o volume de areão colocado é inferior àquele volume teórico, significa que pode ter havido algum colapso das paredes de perfuração ou qualquer outro fenómeno, como a expansão de alguns dos materiais litológicos atravessados (como as argilas expansivas) (Ferreira et al., 2012).

A espessura do maciço filtrante depende da granulometria e da fissuração da formação aquífera, as quais condicionam a sua porosidade total e permeabilidade. A espessura eficaz do maciço filtrante é, regra geral de 3" (nunca inferior a 2,5"), devendo ficar assegurado que o mesmo rodeia os tubos-ralo de forma contínua. No entanto, os maciços filtrantes demasiado espessos dificultam o desenvolvimento da captação e exigem maiores diâmetros de perfuração, aumentando o custo da obra e maciços filtrantes demasiado finos podem não rodear de forma contínua os tubos-ralo, originando problemas de arrasto de partículas finas durante a fase de exploração da captação.

O tamanho dos elementos do maciço filtrante e a sua gradação são selecionados de forma a conseguir a estabilização das formações aquíferas e a permitir que durante as operações de desenvolvimento da captação somente a fração fina (siltes e areias finas) seja arrastada para o interior da captação e depois

removida, por exemplo, através da injeção de ar comprimido no fundo do furo. Existe no comércio especializado, areão separado por classes granulométricas pré-definidas, adequadas às diferentes granulometrias dos aquíferos.

2.2.6.5. Limpeza e desenvolvimento da captação

Após terminar a transformação do furo de pesquisa em captação, seguem-se as operações de limpeza e desenvolvimento do mesmo. Qualquer que seja o método de perfuração utilizado, este vai alterar as características hidráulicas das formações aquíferas na área adjacente à captação, tornando-se necessário proceder as operações de limpeza. Segundo (Ferreira et al., 2012), os principais objetivos das operações de limpeza e desenvolvimento da captação são os seguintes:

- a) Restabelecer, na envolvente da captação, as propriedades hidráulicas iniciais do aquífero que foram alteradas pela operação de perfuração;
- b) Aumentar a eficiência da captação reduzindo as perdas de carga resultantes da circulação da água até ao furo, quer por remoção de fluidos (lamas) e de detritos da perfuração, quer por eliminação de materiais finos da formação aquífera. Com esta eliminação de materiais finos evita-se o seu arrastamento para o interior da captação, sendo minimizados, durante a fase de exploração, os danos na bomba e nas condutas de elevação e distribuição de água. A fração fina em quantidade pode, também, colmatar o furo a partir do fundo ou entupir o maciço filtrante;
- c) Soltar das paredes do furo e trazer à superfície fragmentos de rocha, alguns de dimensão centimétrica ou mesmo decimétrica, que podem, se não forem retirados previamente, causar danos ou entupimentos e colmatações durante a fase exploração;
- d) Produzir, com o maior rendimento possível, água limpa e sem material fino em suspensão.

Existem vários métodos de desenvolvimento da captação, podendo ser físico-mecânicos ou químicos. A seleção do método a empregar depende do modo de construção da captação e do tipo de aquífero. Os métodos mecânicos de desenvolvimento das formações aquíferas consistem em criar fluxos superiores aos naturais através de agitação ou bombagem. Como exemplo destes métodos temos a pistonagem, a sobre bombagem, o desenvolvimento com ar comprimido (“air-lift”), o desenvolvimento por jato a alta pressão (“jetting”), o desenvolvimento de níveis produtivos isolados com recurso a “packers” e os sistemas de desenvolvimento por fracturação (hidrofracturação e emprego de explosivos) (Ferreira et al., 2012).

Os métodos químicos consistem na utilização de agentes químicos que dissolvem a rocha ou dispersam as argilas (efeito dispersante), libertando as frações finas que obstruem as fissuras/fraturas da formação aquífera. Como exemplos destes métodos temos a aplicação de polifosfatos e a acidificação.

Um dos métodos mais usados é o desenvolvimento com ar comprimido (método “air-lift” – figura 2.12), em regime de paragens e arranques, incidindo sobre toda a extensão produtiva do furo, isto é, as zonas dos tubos-ralo. Neste método, o compressor deve proporcionar pressão e débito de ar injetado suficientes para iniciar e manter a operação de desenvolvimento da captação.

Durante a limpeza e desenvolvimento da captação pelo sistema “air-lift” é indispensável que a coluna de injeção do ar tenha uma submergência mínima de 40%, devendo também ser utilizada uma coluna autónoma para elevação da água, nomeadamente quando o furo não estiver revestido.

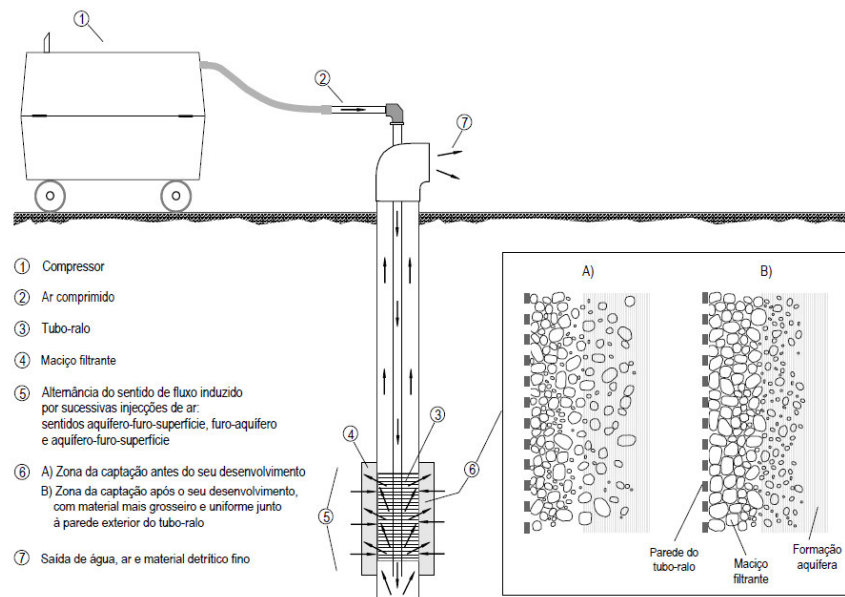


Figura 2.12 - Limpeza e desenvolvimento de uma captação pelo método "air-lift", (Ferreira et al., 2012).

No entanto, é preciso ter em atenção que antes de se iniciar a injeção de ar, deve ser sempre medido o nível de água no furo.

O compressor deve trabalhar em regime de paragens (cerca de 5 a 10 minutos) arrancando de seguida e trabalhando continuamente durante 10 a 15 minutos. O processo de limpeza do furo dá-se por concluído quando a água sair limpa, sem arrastamento de areias finas ou turvação, no entanto, pode durar várias horas ou mesmo dias (24 a 48 horas). Uma forma de verificar se a água está limpa pode ser da seguinte forma: enche-se, por exemplo, uma garrafa de vidro transparente e, uma vez fechada, inverte-se rapidamente colocando-a contra o Sol. Caso se observe turvação ou a queda rápida de areias finas contidas na água, é sinal de que o furo ainda não está satisfatoriamente limpo e a operação de limpeza deve continuar.

O dimensionamento do sistema de bombagem a utilizar no ensaio de caudal final é feito com base nos caudais observados no final da limpeza e desenvolvimento pelo método "air-lift". Apesar de, desrespeitar a legislação em vigor e as boas práticas técnicas é frequentemente utilizado este método com recurso a ar comprimido para determinar o caudal do furo e o respetivo nível. No entanto, a obtenção dos dados deste modo não são rigorosos nem suficientes para a escolha correta das características dos equipamentos de bombagem a ser instalados para a exploração do furo. Os dados, ditos corretos, só podem ser corretamente adquiridos pelo ensaio de caudal com bomba elétrica submersível que constituirá a operação com que termina a obra.

2.2.6.6. Isolamento para proteção dos aquíferos

O isolamento no troço superior do furo, entre o terreno e o revestimento definitivo, chamado de espaço anelar, é obrigatório por lei. Esta operação destina-se a evitar a contaminação dos aquíferos atravessados pelo furo por substâncias poluentes (fertilizantes, produtos fitofarmacêuticos, efluentes humanos ou animais, etc.) que se encontram frequentemente no solo e que tendem a penetrar nos

furos desprotegidos a partir da superfície. Para além dos prováveis prejuízos impostos à captação, ao aquífero e ao meio ambiente, a infração desta disposição legal é penalizada com coimas de valores muito elevados ou podendo mesmo levar à inutilização forçada da captação.

Para a construção do isolamento do troço superior do furo entre o terreno e a coluna definitiva tem de se ter em conta:

- Preenchendo o espaço anelar (espaço entre a tubagem de revestimento do furo e as paredes de perfuração) com material argiloso entre o topo do maciço filtrante e a cota inferior da selagem superficial com calda de cimento. Em alternativa ao material argiloso, podem ser usadas outras substâncias isolantes próprias (à base de argilas expansivas) existentes no mercado, exemplo compactonite;
- A selagem superficial com calda de cimento deve sempre ser feita desde da superfície do terreno até uma certa profundidade, no mínimo igual à indicada no processo de licenciamento (normalmente máximo 20 metros);
- Em geral, a selagem de um furo deve estender-se até à profundidade de uma formação compacta ou impermeável.

Na figura 2.13, apresenta-se um esquema simplificado das fases principais da evolução da construção de um furo.

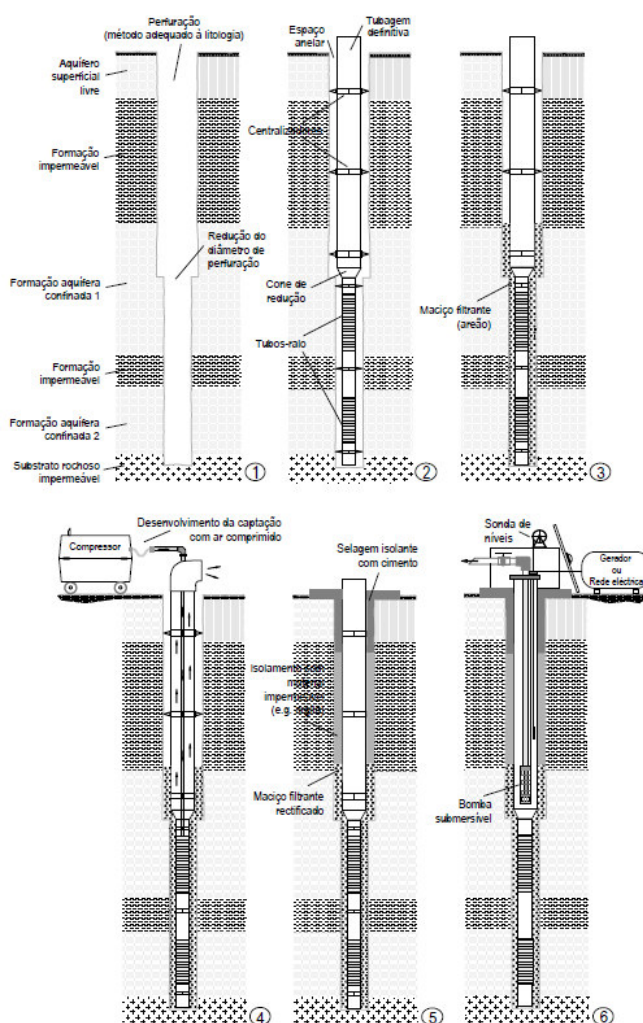


Figura 2.13 - Esquema de resumo das fases de construção de um furo de água (coluna de revestimento com redução), (Ferreira et al., 2012).

2.4. Ensaio de Caudal

Após terminados os trabalhos de desenvolvimento da captação, dever-se-á ensaiar a sua produtividade tendo em conta:

- a) A definição e otimização do caudal de exploração,
- b) A seleção do tipo de bomba (bomba de aspiração, bomba de eixo vertical e, mais comumente utilizada, bomba submersível),
- c) O dimensionamento (potência) da eletrobomba submersível e as condições da sua montagem,
- d) A obtenção de parâmetros hidrodinâmicos que permitem perspetivar a resposta do aquífero a determinado regime de exploração.

É obrigatório por lei a realização de um ensaio de caudal com bomba elétrica submersível, de forma a se conhecer com segurança as características do equipamento de bombagem definitivo a instalar. Permitindo assim eliminar o risco de colocação de uma bomba sobredimensionada ou subdimensionada.

Quando a situação é de uma bomba subdimensionada não se aproveitam as reais capacidades do conjunto furo/aquífero, que até podem ser superiores às necessidades. Mas pelo contrário se acontecer que é uma bomba sobredimensionada, além do maior consumo energético, pode comprometer-se a vida útil da captação devido aos fluxos turbulentos induzidos, podendo ainda verificar-se a inutilização da captação ou da própria bomba pelo súbito ou continuado arrastamento de areias/finos (ou turvação).

Na figura 2.14 A) e B), representa-se o efeito da bombagem de dois furos, um a captar num aquífero livre e outro num aquífero confinado, evidenciando-se, em particular, o nível hidrostático, o nível hidrodinâmico, o rebaixamento observado no furo, a curva de rebaixamento do aquífero na vizinhança do furo e o respetivo raio de influência.

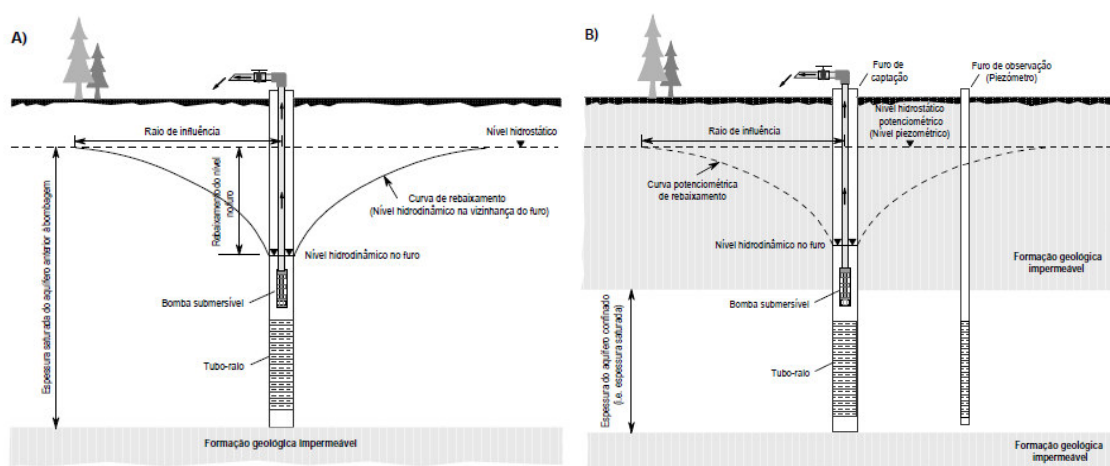


Figura 2.14 - Efeito da bombagem de furos a captar num aquífero livre (A) e num aquífero confinado (B), (Ferreira et al., 2012).

O ensaio de caudal deverá ser equipado com dispositivos que permitam o controlo dos caudais bombeados e a medição dos níveis hidrodinâmicos (ou dos rebaixamentos dos níveis de água a partir do nível hidrostático) em função de uma escala de tempos adequada, como representado na figura 2.15.

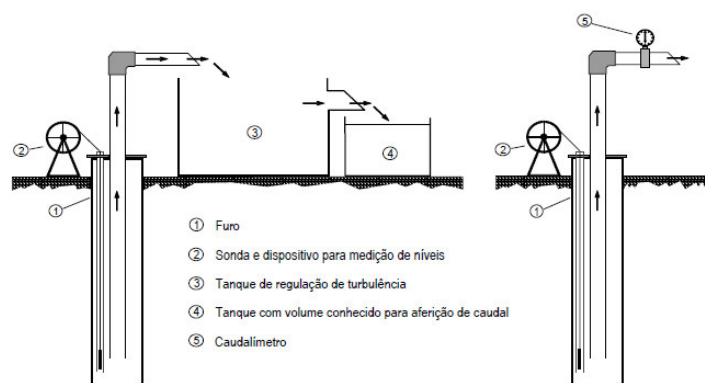


Figura 2.15 - Dispositivo de medição de níveis e dispositivos de medição de caudal com tanque de aferição ou com caudalímetro, (Ferreira et al., 2012).

O nível hidrostático, antes de iniciada a bombagem, é sempre medido no interior do furo ou, se possível, num piezómetro ou noutros furos próximos que captem nos mesmos níveis aquíferos. De seguida é medida a evolução temporal do nível hidrodinâmico, ou seja, os rebaixamentos, registando-se, numa tabela de ensaio, os caudais, tempos e níveis. Após a cessação da bombagem, da mesma forma, deverão também ser registados os níveis hidrodinâmicos de recuperação, ou seja, registados os valores das ascensões.

Um ensaio de caudal tem um tempo de duração muito variável, pois depende das características hidrodinâmicas do furo e dos aquíferos a explorar. Por exemplo nos aquíferos confinados, quando sujeitos a uma certa extração, o tempo de estabilização hidrodinâmica é, em regra, muito menor do que nos aquíferos livres. De acordo com (Ferreira et al., 2012), entre os diversos ensaios de caudal destacam-se os seguintes:

- Ensaio Escalonado (ensaio de caudal variável): efetuados por escalões crescentes de caudal. Podem decorrer com paragem da bomba e recuperação de níveis entre cada escalão, ou de modo contínuo, sem paragem da bomba aquando do aumento de escalão e, portanto, sem recuperação de níveis. O número de escalões poderá variar entre três e cinco, sendo conveniente que todos tenham a mesma duração de bombagem.
- Ensaio a Caudal Constante: executado com um caudal cujo valor é semelhante ao futuro caudal de exploração e que pode ser definido a partir da interpretação dos resultados dos ensaios escalonados.

O ensaio de caudal constante (Figura 2.16) permite determinar o caudal recomendado e estabelecer o regime de exploração da captação.

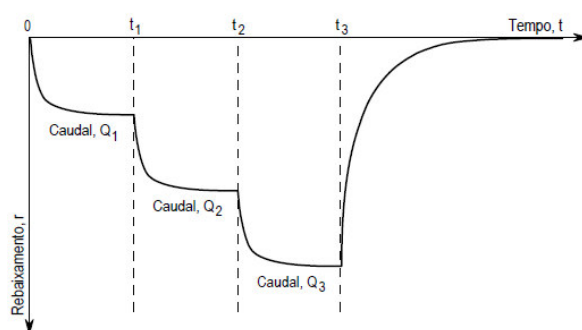


Figura 2.16 - Representação gráfica de um ensaio de caudal escalonado com estabilização de níveis e recuperação final, sendo $t_1=t_2=t_3$ e $Q_1<Q_2<Q_3$, (Ferreira et al., 2012).

Para o efeito, iniciada a bombagem e uma vez atingida uma “estabilização” aproximada do nível hidrodinâmico correspondente àquele caudal, com o subsequente ensaio de recuperação de níveis, ficam reunidos os dados cujo tratamento e interpretação permitem unificar as recomendações relativas ao caudal e regime de exploração do furo. Importa ainda referir, que o ensaio de recuperação de níveis, embora não tenha um carácter obrigatório, é de fácil execução e de grande utilidade para a análise de cenários possíveis de exploração da captação.

São diversas as metodologias utilizadas pelos especialistas para interpretar os resultados dos ensaios de caudal e estimar os parâmetros hidrodinâmicos relacionados com o binómio furo/aquífero.

Um procedimento que importa referir é a determinação da curva característica do furo $r = f(Q)$, isto é, a representação gráfica do rebaixamento (r) em função do caudal (Q) extraído, como representado na figura 2.17.

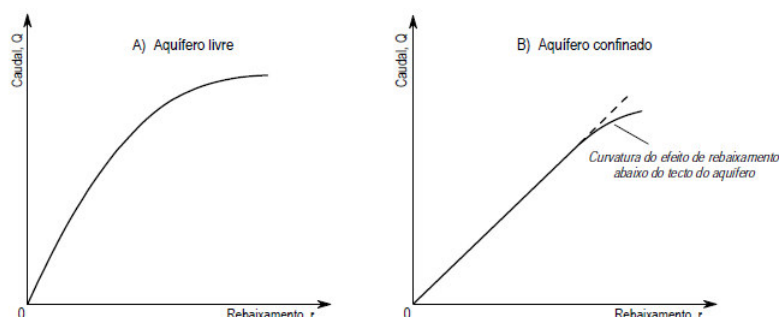


Figura 2.17 - Curvas características teóricas $r = f(Q)$ para um aquífero livre (A) e para um aquífero confinado (B), (Ferreira et al., 2012).

A partir do gráfico obtido é possível inferir o caudal crítico e o caudal ótimo de exploração (figura 2.18). O caudal crítico é inferido pela acentuada inflexão da curva do gráfico. No entanto, o valor do caudal de exploração deve ser semelhante, mas menor do que o valor do caudal crítico.

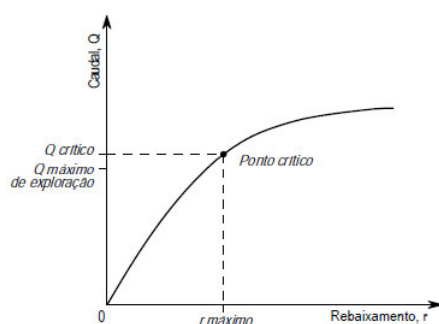


Figura 2.18 - Determinação do caudal crítico e do caudal máximo de exploração a partir da curva característica $r = f(Q)$, (Ferreira et al., 2012).

Inicialmente o gráfico $r = f(Q)$ depende do comportamento hidrodinâmico do aquífero e das características construtivas do furo, mas posteriormente este vai ser influenciado pela limpeza/desenvolvimento e/ou envelhecimento com colmatção progressiva do mesmo (Figura 2.19).

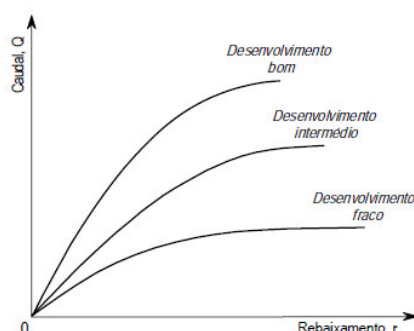


Figura 2.19 - Evolução do gráfico $r = f(Q)$ consoante os graus de limpeza / desenvolvimento e/ou de colmatção progressiva do furo, (Ferreira et al., 2012).

Em jeito de conclusão, os ensaios de caudal são de grande interesse pois permitem:

- Determinar as características intrínsecas à captação (caudal ótimo de exploração, caudal crítico, caudal específico),
- Avaliar a evolução da eficiência da captação,
- Selecionar a bomba submersível adequada,
- Estimar os valores dos parâmetros hidrodinâmicos intrínsecos ao aquífero na área envolvente ao furo, a saber: condutividade hidráulica, transmissividade e coeficiente de armazenamento, sendo que a determinação deste último só é possível com a medição de níveis num piezómetro próximo,
- Identificar eventuais efeitos barreira (positivos ou negativos).

2.5. Acabamento do furo, equipamento de bombagem e manutenção geral

Após concluídos os processos de construção da captação é necessário ter especial atenção aos seguintes parâmetro: “cabeça de furo”, equipamento de bombagem e manutenção geral periódica.

2.5.1. Cabeça de furo

Terminados os trabalhos da construção do furo, á que ter atenção a “cabeça do furo”, pois esta deve ficar protegida dentro de uma caixa de alvenaria ou betão, como representada na figura 2.20.

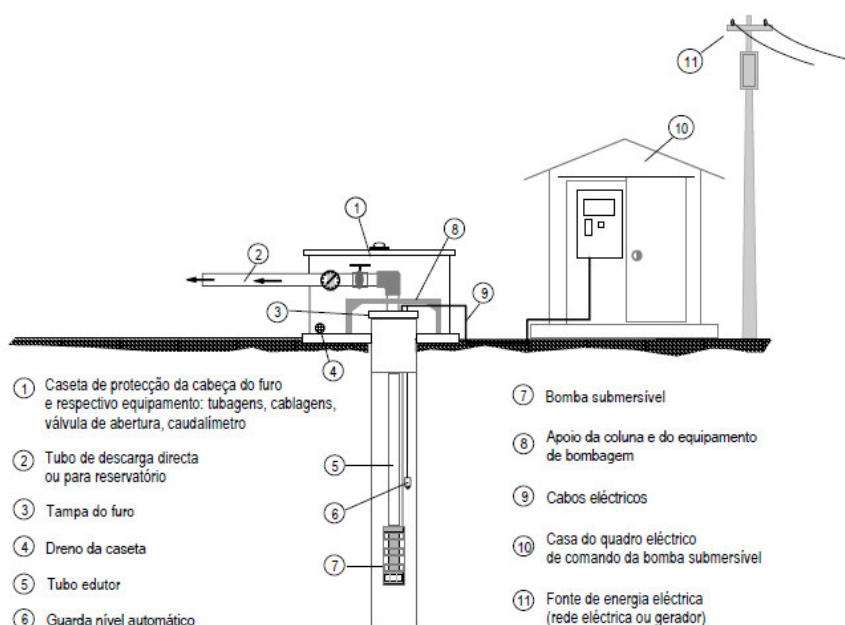


Figura 2.20 - Esquema simplificado da “cabeça” e da caseta de um furo, (Ferreira et al., 2012).

Requerem especial atenção os trabalhos de construção da caixa, pois esta deve ficar protegida por uma tampa roscada ou justaposta por onde passarão, através de aberturas próprias, a tubagem de extração de água, cabos elétricos, cabo de segurança da bomba e cabos de ligação aos sensores internos do furo.

Pode usar-se um anel de betão, pré-fabricado, com cerca de 0.50 m de altura e 1.0 m de diâmetro, sobressaindo do terreno ou enterrado. Embora importe assegurar o seu arejamento eficiente, esta caixa deverá ser coberta com uma tampa encaixada de modo a proteger o seu interior da entrada de qualquer material, incluindo água, proveniente do exterior. A caixa deve ser drenada, devendo haver o cuidado de colocar uma rede (ou outro sistema) logo na ligação do tubo de drenagem à “caixa” para evitar a entrada de material ou pequenos animais.

A tubagem do furo deve sobressair da base da caixa o suficiente para que não sejam dificultadas quaisquer operações de limpeza ou manutenção. Em alternativa à caixa pode optar-se pela construção de uma “caseta” sobre o furo. Neste caso, a “caseta” deve prever, no seu teto, uma abertura para as operações de instalação e/ou de retirada de equipamento, nomeadamente o de bombagem, para reparação, manutenção ou substituição.

2.5.2. Equipamento de bombagem

O equipamento de bombagem inclui o grupo eletrobomba, em geral submersível, e os respetivos órgãos de comando e controle.

Como já referido, as características hidromecânicas da bomba devem obedecer rigorosamente às especificações resultantes do ensaio de caudal executado no final da obra, definindo-se assim posteriormente o seu dimensionamento, tendo em conta os seguintes fatores:

- a) Caudal máximo de exploração e nível hidrodinâmico correspondente,
- b) Diâmetro da captação (conforme referido anteriormente a bomba deve permanecer afastada das paredes da tubagem de revestimento pelo menos 1”),
- c) Cota de descarga da água bombeada,
- d) Perdas de carga nas condutas de adução e respetivos órgãos acessórios.

A bomba nunca deve permitir uma extração de caudal superior ao definido pelo ensaio. Como referido anteriormente, uma bomba sobredimensionada provocará o envelhecimento prematuro da captação, por exemplo, pelo arrastamento de material fino para dentro do furo causando avarias na bomba. Por outro lado, esse material fino mobilizado pela bombagem excessiva e que não entra para o furo, vai preencher os espaços vazios do maciço filtrante colmatando-o e provocando a redução parcial ou mesmo total do caudal. O equipamento de bombagem nunca deve ficar apoiado na coluna de revestimento, mas antes num suporte simples que descarregue o peso e as vibrações desse equipamento na soleira da caixa da captação.

A bomba submersível deve posicionar-se, com alguma margem de segurança, abaixo do nível hidrodinâmico correspondente ao caudal máximo de exploração recomendado. A bomba deve ainda posicionar-se acima dos tubos-ralo, mas podem ocorrer situações em que tal não é possível ficando

posicionada apenas acima de alguns deles, isto em casos especiais, quando existem vários troços drenantes.

A instalação de um equipamento de bombagem deve assegurar, (Ferreira et al., 2012):

- a) Um dispositivo guarda-nível. Este deve estar colocado 2 a 3 m acima da bomba, que a protege, desligando-a quando o nível dinâmico da água no furo desce de modo imprevisto abaixo desse dispositivo. No entanto, o dispositivo preferencialmente deve posicionar-se de acordo com o NPSH (*“net position suction head”*) específico da bomba, o qual define a submergência ou altura mínima da coluna de água acima da bomba para o seu funcionamento seguro.
- b) Um manómetro intercalado na tubagem de condução de água para controlo da pressão de funcionamento da bomba, ou outro dispositivo (eletrónico) de controlo dessa pressão.
- c) Um caudalímetro para controlo dos caudais extraídos.
- d) Quaisquer outros dispositivos mais específicos previstos no plano de exploração.

É importante frisar que a bomba e seus respetivos acessórios devem ser selecionados em função das características físico-químicas da água a captar.

2.5.3. Manutenção

Uma obra de captação de água necessita, após a sua conclusão, de uma manutenção periódica e controle sistemático do furo e do respetivo equipamento pelo que devem ser tidos em consideração os seguintes aspectos:

- a) A captação deverá ser protegida, nomeadamente através do seu isolamento estanque mas com sistema de arejamento que não permita a entrada de pequenos objetos e animais,
- b) Os órgãos de comando e de controlo da bombagem devem ser inspecionados pelo menos duas vezes por ano e sempre que as condições de humidade na “caseta” de proteção o justifiquem,
- c) A bomba e tubagem de condução devem ser revistas anualmente ou, no mínimo, de 2 em 2 anos,
- d) A captação deve ser limpa, preferivelmente pelo sistema de “air-lift” (ar comprimido), com uma periodicidade adequada ao seu regime de exploração,
- e) Os níveis de água e a posição da bomba devem ser regularmente controlados,
- f) Nunca se devem extrair caudais superiores aos recomendados no relatório final da captação,
- g) Deve proceder-se a análises físico-químicas e bacteriológicas periódicas da água extraída, reguladas de acordo com os fins da sua utilização,
- h) Deve organizar-se o espaço envolvente da captação para facilitar o acesso às operações de vistoria e manutenção.

2.6. Relatório final da Obra

Em cumprimento do preceituado pelo nº 3 do artigo 41º do Decreto-Lei nº 226-A/2007, de 31 de maio, o empreiteiro, uma vez concluída a obra, deve elaborar o respetivo Relatório Final.

O Decreto-Lei n.º 84/2011, de 20 de junho que veio alterar o Decreto-Lei n.º 133/2005, de 16 de agosto, procede, entre outros, à simplificação do regime jurídico do “Licenciamento do Exercício das atividades de pesquisa e captação de águas subterrâneas”, conformando-o com o Decreto-Lei n.º 92/2010, de 26 de julho, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2006/123/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de dezembro, relativa aos serviços no mercado interno.

De acordo com a alínea d) do Artigo 14.º do supracitado diploma legal, o titular da licença para o exercício das atividades de pesquisa e captação de águas subterrâneas está obrigado a *“Elaborar um relatório técnico, de acordo com o modelo disponível na página da Internet das ARH, para cada trabalho de pesquisa de águas subterrâneas realizado, o qual deve ser entregue ao cliente no prazo máximo de 60 dias contados da conclusão dos trabalhos de pesquisa”*.

Assim, deverá ser utilizado o modelo disponível no Portal das ARH, ou na ausência deste, o modelo constante do Portal da Autoridade Nacional da Água ou uma adaptação deste sem alterações substanciais.

Além do devido enquadramento hidrogeológico, este relatório deve conter toda a informação relativa aos trabalhos realizados, aos materiais e equipamentos aplicados na captação, assim como a definição das suas condições de exploração, proteção e manutenção.

2.7. Saúde, higiene e segurança no trabalho

Para concluir todo o procedimento associado a uma obra de captação era inevitável não falar nas questões de saúde, higiene e segurança no trabalho. À semelhança de uma obra de construção civil, a execução de um furo de captação de água exige também medidas de segurança, previstas pela lei que nem o Dono da Obra nem a Empresa que a executa podem ignorar.

Independentemente de qual o método de perfuração utilizado, é obrigatório que o Empreiteiro tenha em conta vários aspetos, tais como os que a seguir se referem:

- a) Coloque em local bem visível da obra, um cartaz com a sinalética e os equipamentos pessoais que cada operário deve utilizar,
- b) O material utilizado na obra deve estar criteriosamente arrumado para que seja facilitada a circulação na área dos trabalhos e de modo a evitar acidentes (quedas ou outros),
- c) Designadamente, as varas de aço usadas na perfuração devem ser arrumadas com segurança de modo a que não resvalam, situação que pode provocar graves acidentes; esta precaução é extensível ao arrumo da tubagem de revestimento do furo, seja ela em aço ou em PVC,
- d) Na presença de cabos elétricos na zona dos trabalhos, deverá ter-se o cuidado de a torre da máquina de perfuração, quando em manobra ou depois de fixa no local do furo, respeitar os limites de segurança no afastamento em relação a esses cabos,
- e) Sempre que os métodos de perfuração sejam os de rotação com circulação direta ou inversa, é habitualmente necessária a abertura no terreno de cavidades que servirão de “tanques” para circulação das lamas utilizadas na perfuração. Neste caso, torna-se obrigatório que esses tanques para as lamas estejam devidamente assinalados e protegidos para evitar a queda de qualquer pessoa ou animal nos mesmos. Algumas Empresas possuem depósitos próprios para o funcionamento do sistema evitando, deste modo, a abertura daquelas cavidades,
- f) O pessoal da obra deve ser instruído para as devidas precauções contra acidentes, dispondo de uma caixa de primeiros socorros e dos números telefónicos das autoridades mais próximas (INEM, Bombeiros ou outros) que eventualmente tenham de acorrer a qualquer acidente mais grave,
- g) À entrada do estaleiro deve haver sinalização própria que lhe restrinja o acesso, reservando-o ao pessoal relacionado com a obra, fiscalização e, naturalmente, ao próprio Dono.

Capítulo 3 – Acompanhamento de obras durante o estágio

Durante o estágio, com duração de 9 meses, a estagiária teve a oportunidade de acompanhar algumas das obras contratualizadas à Empresa Captágua (Figura 3.1).

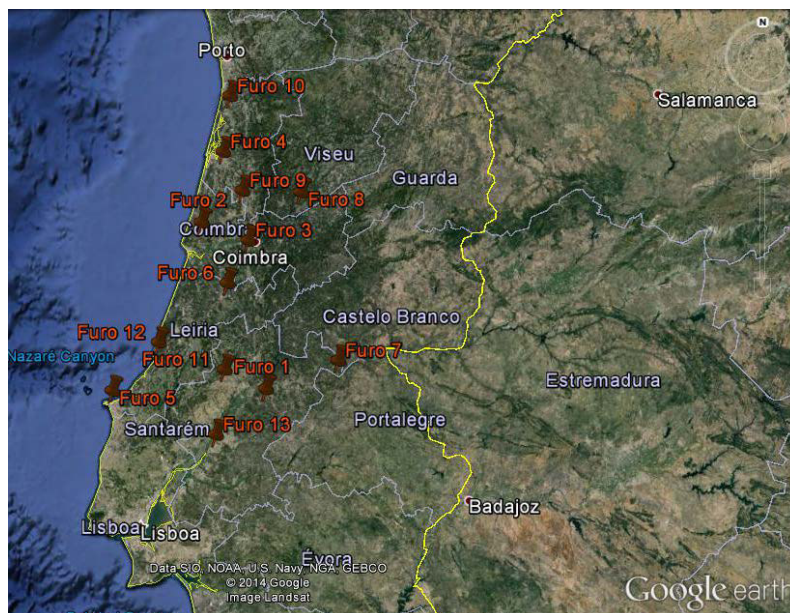


Figura 3.1 – Localização da Captações abordadas, (fonte: Google earth).

3.1. Furo 1 (Anexordem, Lda)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se no Ecoparque do Relvão-Galega Nova, freguesia da Carregueira, pertencente ao concelho da Chamusca (Figura 3.2).



Figura 3.2 – Captação de água pelo método rotação com circulação direta (com respetiva barroca de lamas).

A sondagem executada atravessou os depósitos detríticos do pliocénico, constituídos localmente por arenitos com alguns níveis de seixo e argila. A nível hidrogeológico a região enquadra-se no Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado, Margem Esquerda.

O método de perfuração utilizado foi o método de Rotação com circulação direta. Foram perfurados 110 m com diâmetro 330 mm e 130 m com diâmetro 270 mm, num total de 240 m. Relativamente ao revestimento foi utilizado tubo PVC Georoscado com diâmetro 200 mm nos primeiros 110 m e dos 110 aos 240 m com diâmetro 140 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado. Em anexo (Anexo 1) é possível ver o respetivo Log do furo, no qual está toda a informação.

3.2. Furo 2 (Manuel Carvalheiro)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se no Casal Novo, freguesia de Quiaios, pertencente ao concelho da Figueira da Foz.

A sondagem executada atravessou essencialmente depósitos detríticos (areias) intercalados com níveis de argila. A nível hidrogeológico a região enquadra-se no Sistema Aquífero Viso-Queridas (030).

O método de perfuração utilizado foi o método de Rotação com circulação direta. Foram perfurados 150 m com diâmetro 200 mm. Quanto ao revestimento foi utilizado tubo PVC Georoscado ao longo de toda a profundidade do furo, com diâmetro 140 mm (Anexo 1). Relativamente aos tubos ralos utilizados foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado (Figura 3.3).



Figura 3.3 – Máquina de perfuração, tubos georoscados e respetivo material (seixo) para o maciço filtrante.

3.3. Furo 3 (Águas da Figueira)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se na zona de Braças, freguesia de Quiaios pertencente ao concelho da Figueira da Foz.

A sondagem executada atravessou os Calcários Apinhoados da Costa de Arnes (Cretácico superior) e os Arenitos do Carrascal (Cretácico inferior). A nível hidrogeológico a região enquadra-se no Sistema Aquífero Figueira da Foz – Gesteira (07).

O método de perfuração utilizado foi o método de Rotação com circulação direta. Foram perfurados 207 m com diâmetro 270 mm. Relativamente ao revestimento foram entubados 203m do furo, com tubo PVC Georoscado com diâmetro 140 mm. Nos primeiros 25 m foi ainda colocado um tubo PVC proteção

de diâmetro 250 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado com slote 1mm (Figura 3.4).



Figura 3.4 – Perfuração e revestimento do furo – A, separação das amostras – B, centralizadores – C e tubo georoscado – D.

3.4. Furo 4 (Cobelba)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se na zona de Ílhavo.

A sondagem executada atravessou os Terraço, areias e cascalheiras do quaternário e as argilas de Vagos do cretácico. A nível hidrogeológico a região enquadra-se no Sistema Aquífero do Quaternário de Aveiro (01), da Orla Ocidental.

O método de perfuração utilizado foi o método de Rotação com circulação direta. Foram perfurados 40 m com diâmetro 270 mm. Relativamente ao revestimento foram entubados os 40m perfurados, com tubo PVC Georoscado de diâmetro 140 mm. Nos primeiros 8 m foi ainda colocado um tubo PVC proteção de diâmetro 250 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado, colocados dos 4 aos 10 m, dos 16 aos 22 m e dos 34 aos 40 m, (Figura 3.5).



Figura 3.5 – Entubamento do furo com tubo georoscado (A), colocação de centralizadores (B) e Barroca de lamas (D).

3.5. Furo 5 (Instituto Politécnico de Leiria)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se em Peniche. A realização deste furo é destinada à obtenção de água subterrânea salgada para fornecimento aos laboratórios para investigação de recursos marinhos.

A sondagem executada atravessou o Complexo de Bolhos, do Plio-Plistocénico, constituído por areias médias a finas, acastanhadas e amareladas, com intercalações argilosas e pelos calcários dolomíticos e Margas da dagorda do Jurássico Superior. A nível hidrogeológico a região está inserida no Sistema Aquífero do Paço (023) da Orla Ocidental.

O método de perfuração utilizado foi o método de Rotação com circulação direta. Foram perfurados 36 m com diâmetro 200 mm. Quanto ao revestimento foi utilizado tubo PVC Georoscado ao longo de toda a profundidade do furo (36 m), com diâmetro 140 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado, colocados dos 11 aos 29 m.

3.6. Furo 6 (António Lopes da Mota)

Esta obra de captação de água subterrânea foi realizada na zona do Pombal.

A sondagem executada desenvolveu-se no limite da bacia do Lourical, desenvolvendo-se em formações carbonatadas que constituem a Serra do Sicó, cobertas por detritos aluvionares. A nível hidrogeológico a região enquadra-se no Sistema Aquífero Indiferenciado, da Orla Ocidental.

O método de perfuração utilizado foi o método de Rotação (Rotary) com circulação direta. Foram perfurados 120 m com diâmetro 200 mm. Relativamente ao revestimento foram entubados os 120 m perfurados, com tubo PVC Georoscado de diâmetro 140 mm. Nos primeiros 5 m o diâmetro de perfuração foi alargado de 200 mm para 250 mm e colocado um tubo PVC proteção de diâmetro 250 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado, colocados dos 54 aos 60 m, dos 66 aos 78 m, dos 90 aos 96 m e dos 108 aos 114 m.

3.7. Furo 7 (Fernando Alves da Cunha)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se em Envenedos, pertencente ao concelho do Mação.

A nível geológico a sondagem executada encontra-se inserida no substrato Hercínico, atravessando ao longo da perfuração granitos e granitos fraturados. A nível hidrogeológico a região enquadra-se num sistema fraturado, pertencente ao Maciço Antigo.

O método de perfuração utilizado foi o da Rotopercussão (Percussão pneumática com martelo fundo de furo). Foram perfurados 121 m com diâmetro 220 mm. Relativamente ao revestimento foram entubados os 121 m, com tubo PVC Georoscado de diâmetro 140 mm. Nos primeiros 5m foi ainda colocado um tubo PVC proteção de diâmetro 200 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados, foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado, cuja sua colocação é possível ver no Log do furo em anexo (Anexo 1).

3.8. Furo 8 (Santa Casa da Misericórdia de Santa Comba Dão)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se na zona de Santa Comba Dão.

A nível geológico a sondagem executada atravessou os granitos do Maciço Antigo. A nível hidrogeológico a região enquadra-se num sistema fissural, pertencente á massa de água da Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Mondego.

O método de perfuração utilizado foi o da Rotopercussão (Percussão pneumática com martelo fundo de furo). Foram perfurados 108 m com diâmetro 220 mm. Relativamente ao revestimento foram entubados os 108 m, com tubo PVC Georoscado com diâmetro 140 mm. Nos primeiros 20 m foi ainda colocado um tubo PVC proteção de diâmetro 200 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados, foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado (ver Anexo 1).

3.9. Furo 9 (Luís Miguel de Castro)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se na zona do Bolho, no concelho de Cantanhede.

A nível geológico a sondagem executada atravessou os Calcários de Ançã. A nível hidrogeológico a região enquadra-se num sistema de natureza cársica, pertencente ao Sistema Aquífero Ançã-Cantanhede (04), da Orla Ocidental.

Foram utilizados dois métodos de perfuração. Nos primeiros 44 m, a sondagem atravessou areias e argilas, sendo o método de perfuração utilizado a Rotação com circulação direta, com um diâmetro de perfuração de 200 mm. Dos 44 m aos 100 m, a geologia encontrada foi calcário, sendo necessário trocar o método de perfuração para a Rotopercussão (Percussão pneumática com martelo fundo de furo), diminuindo também o diâmetro de perfuração para 180mm. Relativamente ao revestimento foram entubados 100 m do furo, com tubo PVC Georoscado de diâmetro 140 mm. Nos primeiros 44 m foi ainda colocado um tubo PVC proteção de diâmetro 200 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados, foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado, colocados respetivamente aos 24 a 34 m, 46 a 52 m, 58 a 64 m, 70 a 76 m e 82 a 94 m (ver Anexo 1).

3.10. Furo 10 (António Branco Tavares & Filhos)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se na Zona Industrial de Ovar, pertencente ao concelho de Ovar, distrito de Aveiro.

A nível geológico a sondagem executada está inserida no Maciço Hespérico, encontrando os xistos, sendo estes cobertos em algumas zonas por terraços aluvionares. Quanto ao sistema aquífero encontrado é o Sistema Aquífero da Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Vouga.

Foram utilizados dois métodos de perfuração. Nos primeiros 21 m de sondagem o material encontrado foram areias, sendo o método de perfuração utilizado a Rotação com circulação direta, com um diâmetro de perfuração de 270 mm. Dos 21 m aos 120 m, a geologia encontrada foi xisto, sendo necessário trocar o método de perfuração para a Rotopercussão (Percussão pneumática com martelo

fundo de furo), diminuindo também o diâmetro de perfuração para 220mm. Relativamente ao revestimento, o furo foi todo entubado com tubo PVC Georoscado de diâmetro 140mm. Nos primeiros 21 m, foi ainda colocado um tubo PVC proteção de diâmetro 200 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados, foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado, colocados respetivamente dos 18 aos 30 m, 42 a 48 m, 78 a 84 m e 114 a 120 m (ver Anexo 1).

3.11. Furo 11 (Nutrigreen, SA)

Esta obra de captação de água subterrânea localiza-se na zona da Zibreira, pertencente ao concelho de Torres Novas.

A sondagem localiza-se numa zona essencialmente carbonatada, onde ocorrem calcários mais ou menos compactos, calcários margosos e margas com frequentes intercalações de argilas, sucedendo vários leitos arenosos e lenticulas de calhaus. A nível hidrogeológico a região enquadra-se no Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado, Margem Direita (T1).

Devido à geologia encontrada a perfuração foi realizada recorrendo a dois métodos de perfuração. Inicialmente foram perfurados 60 m com o método da Rotopercussão, com um diâmetro de perfuração de 270 mm. Dos 60 m aos 355 m (profundidade total do furo) o método de perfuração utilizado foi Rotação com circulação direta. Relativamente ao revestimento foi utilizado tubo PVC Georoscado com diâmetro 140 mm em todo o furo e nos primeiros 6 m foi colocado tubo PVC Georoscado proteção com diâmetro 250 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado (ver Anexo 1).

3.12. Furo 12 (Manuel Rodrigues Ferreira)

O Local de realização desta obra de captação de água subterrânea foi na Nazaré.

A sondagem executada atravessou formações de idade pliocénica, assentando em geral sobre o complexo evaporítico hetangiano. A nível hidrogeológico a região enquadra-se no Sistema Aquífero Caldas da Rainha – Nazaré (033) da Orla Ocidental.

Devido à geologia encontrada a perfuração foi realizada recorrendo a dois métodos de perfuração. Inicialmente nos primeiros 24m, devido a geologia encontrada ser argila e areia, foi utilizado o método da Rotopercussão, com um diâmetro de perfuração de 200 mm. Nos restantes 156 m a geologia encontrada foi essencialmente calcário e argila, o método de perfuração utilizado foi Rotação com circulação direta. Relativamente ao revestimento foi utilizado tubo PVC Georoscado com diâmetro 140 mm em todo o furo (180 m) e nos primeiros 24m foi colocado tubo PVC proteção de diâmetro 200 mm. Relativamente aos tubos ralos utilizados foi utilizado tubo PVC Georoscado estriado, colocados respetivamente dos 66 aos 72 m, dos 96 aos 102 m e dos 150 aos 168 m (ver Anexo 1).

3.13. Furo 13 - Águas do Ribatejo

Esta obra de perfuração foi realizada para a AR – ÁGUAS DO RIBATEJO, EM, SA, na zona de Almeirim, Benfica do Ribatejo. Esta obra em concreto, contrariamente às apresentadas anteriormente, vai ser

apresentada de uma forma mais detalhada de forma a exemplificar e permitir uma melhor compreensão de todos os processos envolvidos numa obra deste género.

3.13.1. Enquadramento geral da obra

Esta obra teve como finalidade proceder à execução de duas novas captações de água subterrânea: uma em Almeirim (Figura 3.6) e outra em Benfica do Ribatejo (Figura 3.7).



Figura 3.6 – Localização da Nova Captação em Almeirim (adaptado de Google earth).



Figura 3.7 – Localização da Nova Captação em Benfica do Ribatejo (adaptado de Google earth).

O furo em Almeirim será construído para substituição do furo AC7, o qual será neutralizado por cimentação adequada previamente à abertura do novo furo. O furo em Benfica do Ribatejo será para constituir-se como reserva mecânica do furo PS1 ali existente.

De acordo com o caderno de encargos, os novos furos localizar-se-ão dentro ou muito próximo dos recintos existentes, e espera-se que venham a produzir caudais de exploração da mesma magnitude das captações atuais. Sendo, a execução do furo de captação realizada pelo Método de Circulação Inversa.

Até ao momento as obras realizadas foram a realização do furo em Benfica do Ribatejo e a neutralização do furo AC7 em Almeirim. Ficando ainda como trabalho futuro a realização do furo em Almeirim.

3.13.2 Enquadramento Geológico e Hidrogeológico

A sondagem localiza-se a norte no bordo da Bacia Terciária do Tejo-Sado, que constitui uma depressão alongada na direção NE-SW. Sendo marginada, nesta zona, pelas formações mesozoicas da orla ocidental.

As formações pliocénicas definem uma superfície aplanada mergulhando para SW, da qual se destaca a Serra de Almeirim com 170 m de altitude.

O pliocénico é constituído quase exclusivamente por areias, com intercalações lenticulares de argilas. Estes sedimentos, que afloram em grande parte da área do sistema, ou a pequena profundidade, são de origem fluvial, constituindo uma espessa série, essencialmente arenosa, que em algumas zonas chega a ultrapassar as três centenas de metros (Azevedo, 1982).

Ocorrem também depósitos de terraços e de aluviões moderno, pois estão associados á bacia hidrográfica do Tejo.

A sondagem realizada atravessou a zona aluvionar e de Terraço, de cobertura, passando em profundidade ao Complexo Detrítico de idade Pliocénica.

A nível hidrogeológico a sondagem insere-se num sistema aquífero formado por várias camadas porosas, em geral confinadas ou semiconfinadas. Sendo esta, pertencente ao Sistema Aquífero da Bacia do Tejo-Sado, Margem Esquerda (T3).

A nível de produtividade do aquífero, antes de iniciar com os trabalhos, já era possível ter uma noção bastante realista, isto pelo facto de já existir um furo (da mesma entidade) próximo do local onde foi realizada esta captação.

3.13.3. Selagem da Captação AC7 de Almeirim

O primeiro trabalho consistiu na selagem da captação AC7, com 330m de profundidade, de modo a ficar desativada como exigido no caderno de encargos, e cumprindo todos os parâmetros legais. A desativação do furo de captação de água foi efetuada através da selagem do mesmo de acordo com o seguinte plano de trabalhos:

- a) Retirada de grupo submersível e respetiva coluna de bombagem
- b) Após a verificação da profundidade do furo tendo-se verificado que o furo se encontrava livre desde os 262 metros de profundidade até à superfície, iniciou-se a colocação de seixo calibrado com granulometria 3 – 5 mm, até à cota de -115 metros, permitindo assim manter as condições de circulação de água subterrânea no Aquífero.
- c) No seguimento da colocação de seixo calibrado, procedeu-se à colocação de Compactonite, numa extensão de 2 metros, tendo ficado à cota de -113 metros. Esta colocação é de forma a criar uma barreira de impermeabilização e receber a calda de cimento da selagem superior do furo.
- d) Posteriormente fez-se descer uma coluna em aço ao longo do furo até à profundidade a que se encontrava o Compactonite, esta coluna serviu de coluna injetora de calda de cimento;
- e) A injeção de cimento fez-se com auxílio de uma bomba misturadora. Esta injeção realizou-se de forma a assegurar que a cimentação ocorre-se da base para a superfície do furo. Deve-se ter

sempre atenção ao facto de a calda de cimento sofrer um assentamento, pelo que é necessário proceder á adição de mais cimento até este coincidir com a superfície do terreno.

Terminados os procedimentos de selagem do furo e cumprindo todos os parâmetros exigidos, dá-se por desativado este furo de captação (com designação AC7) e assim, posteriormente, será realizado um furo de captação em substituição deste.

3.13.4. Furo de Captação de água de Benfica do Ribatejo

A perfuração foi realizada segundo o método de circulação inversa com uso de lamas bentoníticas como fluido de circulação. Para fabrico das lamas será usada água limpa e isenta de microbiologia com quimismo conhecido e controlado durante toda a fase de perfuração.

Antes de se proceder á perfuração propriamente dita, foi necessário proceder ao transporte e montagem de equipamento e de estaleiro, bem como se necessário decapagem e limpeza do terreno e à colocação ordenada de todo o material de apoio à sondagem no terreno: varas, tricones, acessórios de manutenção, etc. Durante esta fase procedeu-se à instalação também do equipamento de sondagem no local onde foram realizados aos trabalhos de perfuração.

Procedeu-se também à abertura do tanque de lamas (Figura 3.8) com o objectivo de depositar as lamas bentoníticas para estabilização da perfuração. As dimensões desse tanque serão aproximadamente 3 x 3 metros.



Figura 3.8 – Barroca de lamas e perfuração pelo método da circulação inversa.

No final da obra todo o local utilizado, ficou livre e desimpedido de qualquer entulho e equipamentos.

Método e diâmetros de perfuração

Como referido anteriormente, e de acordo com o caderno de encargos, o método de perfuração utilizado é o método de rotação com circulação inversa. No processo de perfuração foi utilizada uma máquina de perfuração INGERSOLL RAND TW3, como auxílio de compressor de 21 kg/cm²e tricone em aço, permitindo a execução de furos de grande profundidade (até 1000m) e diâmetros máximos (até 40”) de forma eficiente e rápida.

Foram utilizados dois diâmetros de perfuração. Inicialmente perfurou-se com um diâmetro de perfuração de 550 mm, passando aos 85m com um diâmetro de 500 mm até final do furo (aos 200 m).

Durante os trabalhos de pesquisa teve-se sempre em conta a geologia ocorrente (ver Log do furo em Anexo 1), fazendo-se a recolha de amostras de 2 em 2 metros e a partir dos 100 metros de profundidade de 1 em 1 metro. Estas informações foram acompanhadas com recolha de informação da velocidade de perfuração.

Após os trabalhos de perfuração preparou-se o furo para a realização de diagrfias. Este trabalho compreende a dissolução das lamas utilizadas durante a perfuração, e a retirada das varas de perfuração. Efetuaram-se diagrfias ao furo, como apoio à correta localização das camadas produtivas e posterior dimensionamento do tubo ralo. O dimensionamento definitivo da coluna de revestimento dos furos de pesquisa foi efetuado após interpretação conjunta das diagrfias, da amostragem dos terrenos atravessados e das informações recolhidas durante a fase de perfuração.

A decisão de transformar o furo de pesquisa em furo de captação de água, ficou-se a dever às boas indicações de possíveis aquíferos, provenientes da informação recolhida durante os trabalhos de perfuração. Tendo em conta esta informação foi posteriormente dimensionado o revestimento da respetiva captação, com o auxílio das diagrfias (ver Anexo 2).

Revestimento definitivo da Captação

Após a decisão de transformar o furo de pesquisa em furo de captação, procedeu-se ao correto dimensionamento e ajustamento da coluna de revestimento definitivo e à seleção e posicionamento dos tubos ralos.

Para o revestimento deste furo foi utilizado Tubo PVC SBF, de acordo com a norma DIN 4925, apresentando como principais características:

- a) Totalmente anticorrosivo,
- b) Fácil de transportar e trabalhar devido ao seu reduzido peso, mantendo a resistência suficiente a cada caso,
- c) Grande resistência à compressão, o Georoscado, apresenta juntas roscáveis macho/fêmea, com elevada resistência à tração e compressão, garantindo melhor alinhamento na zona da união e uma rápida e segura aplicação,
- d) Tem certificado de alimentabilidade, conforme provam análises realizadas em laboratório independente – Instituto Ricardo Jorge,
- e) Permitem a utilização de todo o tipo de águas subterrâneas,
- f) Os tratamentos repetidos com agentes de regeneração e de limpeza não produzem qualquer tipo de alteração ao tubo Georoscado,
- g) Melhor aproveitamento dos recursos hídricos,
- h) Elevada resistência ao colapso e durabilidade,
- i) Maior isolamento das águas superficiais,
- j) Preparado para suportar pressões exteriores,
- k) Maior verticalidade.

Todos os tubos que constituem a coluna de revestimento definitivo da captação foram, imediatamente antes da sua aplicação, desinfetados com uma solução de Hipoclorito de Sódio.

O furo de Benfica do Ribatejo foi revestido 79,5 m, com tubo fechado, em PVC SBF DN 250 norma DIN 4925 de diâmetro 280 mm x 12,5 mm de espessura e dos 80,62 aos 190,62 metros em PVC SBF DN200 norma DIN 4925 de diâmetro 225 mm x 10 mm de espessura.

O cone de redução foi colocado dos 79,5 aos 80,62 m, de natureza PVC SBF DN200 norma DIN 4925. Os tubos ralos colocados são em PVC SBF DN200 norma DIN 4925 com diâmetro 225x10 mm, ranhurado de alta produtividade para aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos. Os slots foram de 1,5 mm, efetuados por equipamento informatizado de alta tecnologia que permite rasgar sem afetar a resistência, conforme análise da granulometria das camadas produtivas e do areão calibrado que constitui o maciço filtrante. Os tubos ralos foram colocados de forma a ocupar os locais frontais às formações produtivas assegurando assim que recebem apenas e exclusivamente a água destes, e evitando a passagem da água por “caminhos” indesejáveis. Estes foram colocados dos 95,62 aos 105,62 m; dos 111 aos 115 m; dos 137,62 aos 143,62 m; dos 172,62 aos 178,62 m e dos 186 aos 190 m.

A execução do revestimento foi realizada de forma a assegurar a maior verticalidade possível do tubo em relação ao furo, assegurando assim a posterior homogeneidade do areão filtrante.

Para uma correta centralização da coluna foram utilizados centralizadores, colocados entre a perfuração e a parede do tubo com espaçamento mínimo de 6 metros.

Terminada a colocação da coluna de revestimento definitivo procedeu-se ao preenchimento do espaço anelar. Nas camadas aquíferas a aproveitar, foi colocado um maciço filtrante, artificial, constituído por seixo calibrado, de origem siliciosa e com 4-7 mm de graduação.

De seguida, procedeu-se ao isolamento das camadas aquíferas a captar, contra eventuais contaminações superficiais e/ou outros aquíferos com águas de qualidade inferior, isolando-as com Compactonite (dos 60 aos 70m) e bentonites, argilas e outros materiais detríticos (dos 0 aos 60 m).

Limpeza/Desenvolvimento da Captação e ensaio de Caudal

Para garantir o melhor aproveitamento de um aquífero, neste caso, do furo realizado, foram realizados dois procedimentos a seguir referidos.

Limpeza/Desenvolvimento da captação: foi realizada para garantir que as características hidráulicas do aquífero, na zona periférica da captação, e que foram alteradas durante a perfuração, se mantenham. Pretendeu-se com este procedimento otimizar o fluxo de água no maciço drenante instalado, fundamentalmente pela remoção das partículas finas do maciço filtrante, nas zonas adjacentes aos drenos, e estabilização da formação periférica. O desenvolvimento de uma captação implicou a criação de diferenças de pressão e uma eficaz alternância do sentido de fluxo da água no furo, o que requereu a utilização de equipamentos e operações apropriados, entre os quais se destacam a utilização de pistões, água, ar comprimido, etc. Este procedimento revestiu-se de grande importância na viabilização técnica e económica da captação, evitando assoreamentos, diminuindo as perdas de carga, aumentando o raio efetivo das captações, estabilizando a formação aquífera e aumentando a permeabilidade dos filtros. Caso esta operação não fosse realizada, as partículas finas acabariam por colmatar o maciço drenante e

entrar na captação, ao longo da sua exploração, contribuindo drasticamente para o envelhecimento da obra. No furo em questão foi utilizado o sistema de limpeza com ar comprimido mas com o método de circulação inversa em regime de paragens e arranques, incidindo sobre toda a extensão produtiva do furo, tubos ralos. Neste método o compressor proporcionou uma pressão e débito de ar injetado suficientes para o arranque do mesmo, tendo contribuído também para a manutenção das operações de limpeza e desenvolvimento do furo. Para o correto funcionamento do método “air-lift” foi indispensável assegurar que a coluna de injeção de ar tivesse uma submergência mínima de 40% tendo sido utilizada uma coluna autónoma para elevação de água com 4” de diâmetro. As operações de limpeza foram dadas por concluídas quando, nas respetivas bombagens em regime contínuo, a água extraída se apresentava sem turvação e isenta de material sólido em suspensão. Estas operações tiveram a duração de 48 horas. Durante esse período de tempo procedeu-se à desnatação das lamas utilizadas durante o processo de perfuração.

Ensaio de Caudal: após a conclusão dos trabalhos (colocação da tubagem definitiva e da posterior limpeza e desenvolvimento), foi realizado um ensaio final de caudal escalonado com bomba elétrica submersível.



Figura 3.9 – Ensaio de Caudal escalonado com bomba submersível.

O ensaio final de caudal foi executado em duas fases consecutivas sem interrupções: 1ª Fase com três escalões crescentes de caudal (25, 30 e 35 l/s); e 2ª Fase com caudal constante. O caudal da 2ª Fase foi definido de acordo com o comportamento da captação durante a 1ª Fase tendo-se admitindo, no entanto, que seria correspondente ao caudal do 3º escalão da 1ª Fase (35 l/s) (ver Anexo 3). O ensaio foi realizado de forma ininterrupta. Durante as 48 horas de bombagem a caudal constante, foram periódica e rigorosamente medidos, o caudal extraído e os níveis de água no furo ensaiado. O caudal foi controlado durante todo o ensaio. Durante as duas fases de ensaio, o caudal foi medido e registado aos minutos: 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 150, 180, 210, 240, 360, 420 e 480, até final do escalão. Após a mudança de cada escalão foi retomada a medição de caudal e seu registo segundo a escala de tempos mencionada anteriormente. Igual procedimento foi levado a efeito aquando do ensaio a caudal constante correspondente à 2ª Fase. O nível dinâmico foi medido com frequência suficientemente apertada, de forma a possibilitar a interpretação do ensaio em regime de escoamento transitório. Foram feitas leituras e registos aos minutos: 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 75,

90, 105, 120, 140, 160, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 420 e 480, até final de cada escalão. Após a mudança de cada escalão foi retomada a leitura de níveis dinâmicos e seu registo segundo a escala de tempos mencionada anteriormente. Igual procedimento foi levado a efeito aquando do ensaio a caudal constante correspondente à 2ª Fase. Após a paragem da bomba, as medições do nível da água (fase de recuperação) foram efetuadas de imediato imediatamente. As medições foram realizadas em intervalos muito curtos de modo a possibilitar a interpretação desta fase dos ensaios. Fizeram-se leituras e registos aos minutos: 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 140, 160, 180, 210 e 240. A fase de controlo dos níveis de recuperação foi dada por concluída quando atingido o nível hidrostático inicial.

Após realizados todos os ensaios, o nível hidrostático obtido é 22,2m, o nível hidrodinâmico é 35m e o caudal recomendado para exploração é 125 m³/h (35 l/s).

Análise Química da água

A qualidade da água extraída durante o ensaio foi controlada, fazendo-se medições da temperatura, do pH, da condutividade elétrica e teor em cloretos com intervalo máximo de 60 minutos. Durante o ensaio foi realizada uma colheita de uma amostra de água, a qual foi submetida a análise química completa e bacteriológica, por laboratório da especialidade devidamente acreditado. Na Tabela 3.1, apresentam-se os resultados da análise fisico-química da água.

Tabela 3.1 – Análises da água.

Nome	pH	T (°C)	Cond. (μS/cm)	Aniões (mg/l)			Catiões (mg/l)				Dureza total (mg/l)
				Cl	NO ₃	SO ₄	Na	Ca	Mg	Fe	
Águas da Figueira (2014)	7,3	23,1	267	31	< 4,0	<12	38	12	6,4	0,4	53

Das análises obtidas, pode-se concluir que a água cumpria os valores estabelecidos para a utilização pretendida (consumo público).

Para dar por concluída a obra, e no final de todos os trabalhos de transformação do furo de pesquisa em captação, foram realizadas filmagens no interior do furo.

3.13.5. Comparação entre as diferentes obras

Na Tabela 3.2 a seguir apresentada, estão registados valores de diâmetros de perfuração, bem como o método utilizado, a zona onde foram realizadas as perfurações e os aquíferos pertencentes, os valores obtidos de nível hidrostático e hidrodinâmico e os caudais. Da análise da tabela podemos retirar as seguintes conclusões, por comparação entre as diferentes obras:

- Uma primeira conclusão é que, apesar dos poucos dados analisados na tabela, o método mais utilizado é o da Rotação com circulação direta. Esta utilização deve-se em grande parte ao fato das obras realizadas serem de particulares e a nível custo/benefício este método ficar mais em conta, comparativamente ao método da circulação inversa.

- b) É possível verificar que na obra das Águas do Ribatejo, apesar de o método a utilizar já estar mencionado previamente no caderno de encargos, o método que era aconselhável utilizar era mesmo o da circulação inversa, isto, devido ao facto de os diâmetros de perfuração serem da ordem de grandeza dos 550 e 500mm). Em situações de grandes diâmetros de perfuração é mesmo o método da circulação inversa mais aconselhável e mais eficaz.
- c) Um terço dos furos foi executado com recurso ao método da circulação direta e ao da rotopercussão. Este facto justifica-se pelas diferentes litologias encontradas ao longo do furo, ou seja, durante a realização da mesma perfuração encontra-se rocha mole (sedimentar ou alterada) e rocha dura (granito, xisto, calcário), sendo necessário utilizar respetivamente rotação com circulação direta ou rotopercussão.
- d) Regra geral, os diâmetros de perfuração são mais elevados quando se utiliza o método de perfuração por rotação, sendo que com a circulação inversa os diâmetros podem ser superiores aos praticados com circulação direta. A rotopercussão por norma necessita de diâmetros de perfuração inferiores.
- e) Quanto ao tipo de furo, todos os realizados pela empresa ao longo do decorrer do estágio foram furos verticais. Refira-se no entanto que foi possível acompanhar a realização de perfurações horizontais não para captação de água mas sim para ligação entre condutas (figura 3.10).



Figura 3.10 – Perfuração Horizontal.

Tabela 3.2 – Tabela resumo, referente às obras de captação de água abordadas.

Obra	Local	Coordenadas (Longitude e latitude)		Tipo	Finalidade	Método	Profundidade (m)	Diâmetro. Perfuração (mm)	Diâmetro Revestimento (mm)	Tubos Ralos (Início e fim)	Tipo tubo	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Caudal (m³/h)	Sistema Aquífero
Furo 1	Carregueira	-835229	3938276	vertical	Consumo humano /Abeberamento animal/ Rega	Rotação com circulação direta	240	330; 270	200 140	116; 224	PVC Georoscado	75	80 100	10 12	Bacia Tejo-sado, Margem esquerda
Furo 2	Quiaios	-880155	4023210	vertical	rega	Rotação com circulação direta	150	200	140	80; 143	PVC Georoscado	0	90	11,4	Viso-Queridas (030)
Furo 3	Quiaios	-848462	4014358	vertical	Abastecimento Público	Rotação com circulação direta	207	270	140 - 203m 250 - 25m	88; 196	PVC Georoscado	1	76	24	Figueira da Foz-Gesteira (07)
Furo 4	Ílhavo	-866410	4059741	vertical	rega	Rotação com circulação direta	40	270	140 - 40m 250 - 8m	4; 40	PVC Georoscado	20	32	0,06	Quaternário de Aveiro (01), da Orla Ocidental
Furo 5	Peniche	-937387	3935745	vertical	Fornecimento de água salgada aos laboratórios para investigação de recursos marinhos	Rotação com circulação direta	36	270	140	11; 29	PVC Georoscado	5	30	20	do Paço (023) da Orla Ocidental
Furo 6	Pombal	-861977	3992346	vertical	rega	Rotação com circulação direta	120	200	140 - 120m 250 - 5m		PVC Georoscado	40	90	10	Indiferenciado, da Orla Ocidental
Furo 7	Mação	-787306	3953321	vertical	rega	Rotopercussão	121	220	140 - 121m 200 - 5m	42; 120	PVC Georoscado	12	80	4	Mação Antigo
Furo 8	Santa Comba Dão	-813485	4039588	vertical	rega	Rotopercussão	108	220	140 - 108m 200 - 20m	19; 102	PVC Georoscado	20	70	4,8	Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Mondego
Furo 9	Cantanhede	-852927	4039786	vertical	rega	Rotação com circulação direta e Rotopercussão	100	200; 180	140 - 100m 200 - 44m	24; 94	PVC Georoscado	20	92	1,2	Ançã-Cantanhede (04), da Orla Ocidental
Furo 10	Ovar	-862480	4088603	vertical	rega	Rotação com circulação direta e Rotopercussão	120	270; 220	140 - 120m 200 - 21m	18; 120	PVC Georoscado	17	50	6	Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Vouga
Furo 11	Zibreira	-862809	3947910	vertical	rega	Rotação com circulação direta e Rotopercussão	355	270; 270	140 - 355m 250 - 6m	169; 325	PVC Georoscado	141	250 350	4 4,8	Bacia Tejo-sado, Margem direita
Furo 12	Nazaré	-907174	3961147	vertical	rega	Rotação com circulação direta e Rotopercussão	180	200; 200	140 - 180m 200 - 24m	66; 168	PVC Georoscado	58	18	9	Caldas da rainha-Nazaré (033) da Orla Ocidental
Furo 13	Benfica do ribatejo	-867900	3914377	vertical	consumo público	Rotação com circulação inversa	200	550; 500	280x12,5 (0 aos 79,5m) 225x10 (80,62 aos 190,62m)	95,62; 190	PVC SBF DN 250/200	22,2	35	125	Bacia do Tejo-Sado, Margem Esquerda

Capítulo 4 – Método de resistividade elétrica

Este capítulo surge pelo facto de na empresa ter adquirido recentemente um equipamento de resistividade elétrica (WDA-1). Devido ao facto desta técnica não ter sido implementada, um dos objetivos do estágio passou assim pelo desenvolvimento da metodologia, implementação e teste das funcionalidades do equipamento adquirido.

Em contextos geológicos mais ou menos complexos, os métodos geofísicos têm-se revelado bastante importantes na localização e caracterização de estruturas geológicas suscetíveis de apresentar interesse na prospeção e pesquisa de águas subterrâneas (Custodio e Llamas, 1983; Martínez e Ruano, 1998).

Quando se fala no estudo de aquíferos o método elétrico mais utilizado é o método das resistividades, isto porque, entre meios saturados em água e meios secos existe uma diferença de propriedades elétricas, ou seja de resistividades.

A resistividade das rochas depende de vários fatores, de entre os quais; a composição mineralógica, o grau de alteração, as fissuras nos poros e dos fluídos neles contidos, sendo este último o parâmetro principal.

As fissuras ou os poros geralmente estão preenchidos por água e esta tem sais dissolvidos, dando um maior poder as rochas de poderem conduzir ou não corrente elétrica, verificando-se que quando a porosidade diminui, geralmente a resistividade aumenta e vice-versa (Figueiredo, 1990).

As rochas compactas são muito resistivas, ou seja, são más condutoras de eletricidade. No entanto, nas zonas de fraturas a condutividade aumenta devido à circulação de fluidos. Um outro fator para que seja possível a condutividade aumentar nas rochas compactas é a presença de minerais condutores disseminados nas rochas (Parasnis, 1973).

No caso de os poros não estarem preenchidos por água, as restantes rochas também podem ter resistividades muito altas. Sendo de notar, que existem outros fatores que influenciam a resistividade das rochas, que são; o grau de saturação em água, a salinidade da água, a permeabilidade da rocha e a temperatura. Quando se fala em resistividade da água, esta varia dependendo da percentagem de sais nela dissolvidos.

O método da resistividade elétrica consiste na injeção de corrente elétrica na superfície do solo a diferentes distâncias entre elétrodos, através de elétrodos dispostos ao longo do terreno com um espaçamento constante, para assim calcular as resistividades elétricas nas diferentes profundidades.

A técnica das Pseudo-seções aplica-se principalmente, em situações cujos objetivos das pesquisas visam determinar discontinuidades laterais nos materiais geológicos, tais como: diques e “sills”, contatos geológicos, fraturas e/ou falhas, corpos minerais, mapear plumas de contaminação no subsolo, entre outros (Braga, 2007).

4.1. Enquadramento teórico do método

A Geofísica pode ser definida como a ciência que se ocupa do estudo das estruturas do interior da Terra e da localização nesta, de corpos delimitados pelos contrastes de algumas das suas propriedades físicas com as do meio circundante, usando medidas tomadas na sua superfície, no interior de furos de sondagens e levantamentos aéreos (Orellana, 1972). A Prospeção Geofísica é uma das ciências que deriva da Geofísica Aplicada. Esta é a ciência e técnica, que a partir de fenómenos físicos, naturais ou provocados, trata de conhecer a distribuição dos materiais no subsolo e suas propriedades (Custodio e Llamas, 1976).

Existem dois grupos de técnicas de prospeção, métodos de campo natural e métodos de campo artificial. Existem métodos que tiram partido de fontes naturais (gravimétrico e magnético) e métodos de campo artificial (elétrico e sísmico). Esta adequação dos métodos aos campos naturais e artificiais não é generalizável já que existem métodos eletro-magnéticos que tiram partido de campos naturais (magnetotelúricos) e métodos sísmicos que usam ruído ambiental artificial como fonte.

Os métodos geofísicos são métodos caros e devem ser utilizados na área em estudo após a análise geológica e hidrogeológica prévia detalhada da mesma, ou seja, nunca devem ser utilizados isoladamente.

4.1.1. Métodos Geofísicos

Os métodos Geofísicos, dependendo da propriedade física em estudo, englobam uma grande variedade de métodos. Na tabela 4.1, estão representados os vários métodos geofísicos, de acordo com a propriedade elétrica e os respetivos parâmetros medidos.

Tabela 4.1- Resumo dos principais métodos Geofísicos (modificado de Keary, 2009).

Método	Parâmetro Medido	Propriedade Física
Sísmico	Tempo de percurso de ondas sísmicas refletidas/refratadas	Velocidade Sísmica
Gravimétrico	Variação espacial da força do campo gravitacional da Terra	Densidade
Magnético	Variação da força do campo magnético	Suscetibilidade Magnética
Resistividade	Resistividade aparente	Resistividade Elétrica
Polarização Induzida	Voltagens de polarização ou resistência dependente da frequência	Cargabilidade ou efeito de frequência
Potencial Espontâneo	Potenciais elétricos	Resistividade Elétrica
Eletromagnético	Resposta à radiação eletromagnética	Condutividade Indutância Elétrica
Radar	Tempo de percurso de pulsos de radar refletidos	Constante Dielétrica, Permeabilidade Magnética Resistividade
Geotérmico	Propagação do calor	Fluxo Térmico

Na prospeção de águas subterrâneas em terrenos cristalinos importa principalmente identificar zonas de fratura saturadas, pois é nestas que se encontra armazenada a água subterrânea. Entre os métodos geofísicos disponíveis, a resistividade elétrica e o método eletromagnético de muito baixa frequência (EM-VLF) são considerados os métodos de eleição para a prospeção de águas subterrâneas nestes meios hidrogeológicos (Nath *et al.*, 2000).

4.1.1.1. Método da Resistividades elétrica (Geoelétrica)

O método da resistividade elétrica, também conhecido como geoeletrica, é um método geofísico que consiste na determinação da resistividade elétrica dos materiais e, juntamente com a constante dielétrica e a permeabilidade magnética, expressam essencialmente as propriedades eletromagnéticas dos solos e rochas.

Os diferentes tipos de materiais existentes no ambiente geológico têm como uma das suas propriedades fundamentais o parâmetro físico (a resistividade elétrica), o qual permite através de algumas das suas características caracterizar o seu estado, em termos de alteração, fracturação, saturação, e mesmo identifica-los litologicamente, sem necessidade de escavações físicas.

A resistividade elétrica dos terrenos é uma característica estreitamente ligada ao tipo, natureza e estado de alteração das formações geológicas, assim como à presença de águas subterrâneas e elementos contaminantes. Deste modo, o conhecimento da distribuição espacial da resistividade elétrica em profundidade, a partir de registos efetuados à superfície, permite identificar e caracterizar estruturas geológicas subsuperficiais, deduzir zonas de percolação preferencial de águas subterrâneas e delimitar plumas de contaminantes (Graça e Mota, 2002).

Neste método, a propriedade física medida é a resistividade traduzida na resistência que cada material apresenta perante a passagem de corrente elétrica, ou seja, a capacidade que um determinado corpo tem em se opor á passagem de corrente elétrica. Cada formação geológica apresenta um valor de resistividade diferente, consoante o tipo de minerais que a constituem, assim como da qualidade e quantidade de fluidos que preenchem os seus poros e fraturas. Para uma boa interpretação e compreensão dos resultados obtido através de um método de resistividade elétrica são necessários conhecimentos acerca dos valores típicos de resistividade dos diferentes materiais no subsolo que podem ser consultados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2- Resistividade e condutividade de alguns minerais e rochas (Telford et al., 1990; Aktarakçi, 2008).

Rocha	Resistividade (ohm.m)	Condutividade (mS/m)
Granito (húmido e seco)	4,5x10 ³ - 1,3x10 ⁶	0,0008 - 0,22
Gabro	10 ³ - 10 ⁶	0,001 - 1
Xisto	20 - 10 ⁴	0,1 - 50
Mármore	100 - 2,5x10 ⁸	0,000004 -10
Quartzito	10 – 2x10 ⁸	0,000005 – 100
Argilito	10 - 800	1,25 – 100
Calcário	50 - 10 ⁷	0,0000001 – 20
Argila (húmida e seca)	1 -100	10 – 1000
Areia (húmida e seca)	1 - 10 ⁴	0,1 – 1000
Água doce (20° C)	80	12,5
Água subterrânea	0,5 - 300	3,3 – 2000
Água salgada	0,1 - 1	1000 – 10000
Água do mar	0,2	5000
Ferro	9x10 ⁻⁸	1,1x10 ⁴
Cobre	2x10 ⁻⁸	5x10 ⁴
Solo	1 - 10	100 - 1000

O método da resistividade elétrica consiste em medidas de impedância resistiva, com subsequente interpretação em termos de propriedade elétrica da estrutura geológica em subsuperfície, baseado na resposta de cada material ao fluxo de uma corrente elétrica (Ward, 1990).

Quando uma corrente elétrica é introduzida no subsolo através de dois elétrodo (AB), esta produz uma diferença de potencial que é medida por um segundo par de elétrodo (MN). O valor medido desta diferença de potencial é função da resistividade aparente do subsolo e do arranjo geométrico dos elétrodo, sendo que a profundidade investigada é diretamente proporcional ao espaçamento entre os elétrodo (Orellana, 1972). É importante destacar, ainda, que a resistividade nos sólidos pode ser determinada através de corrente contínua (DC) ou corrente alternada (AC).

Pela Lei de Ohm, a relação entre a resistividade (ρ) e a resistência (R) de um fio condutor homogéneo, de forma cilíndrica ou prismática (Figura 4.1), é dada pela seguinte expressão:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{ohms}) \quad (4.1)$$

onde:

L- comprimento

S- secção transversal do condutor

ρ - Resistividade, unidade Sistema Internacional (SI) é ohm.m

R- Resistência

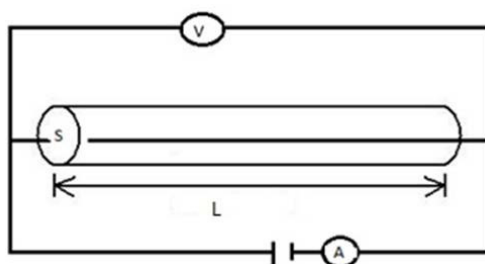


Figura 4.1 - Modelo de fluxo de corrente elétrica num cabo pela Lei de Ohm (Modificado de Kearey et al., 1984)

Pode-se definir então a *resistividade* pela seguinte expressão:

$$\rho = R \frac{S}{L} \quad (\text{ohm.m}) \quad (4.2)$$

Quando se pensa na Terra ou em qualquer outro corpo tridimensional, a corrente elétrica não flui num único caminho, como no caso do fio condutor. Considerando uma bateria conectada ao solo (Figura 4.2), através de cabos e elétrodo, por dois pontos distantes um do outro, a Terra, que não é um isolante perfeito, conduz a corrente elétrica gerada pela bateria. Assumindo-se que a resistividade do solo é uniforme.

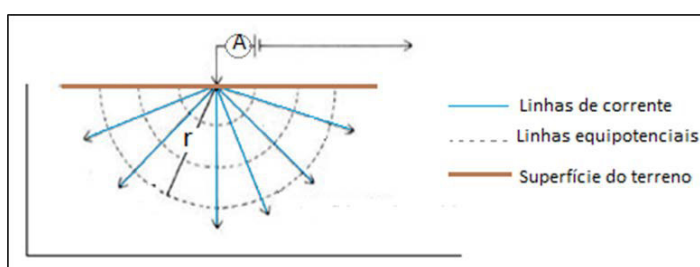


Figura 4.2 - Fluxo de corrente a partir de um único elétrodo à superfície (adaptado de Kearey et al., 1984).

Aplicando a primeira expressão (3.1), a partir da figura anterior, obtêm-se (Braga, 2007):

$$R = \frac{\rho \cdot r}{2\pi r^2} = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (4.3)$$

Substituindo pela Lei de Ohm, $V=R \cdot I$, obtêm-se:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (4.4)$$

Por fim, considerando o subsolo homogéneo e de resistividade constante, pode-se determinar a resistividade pela seguinte expressão:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (3.5)$$

onde:

ρ – Resistividade;

V – Potencial;

I – Corrente

r – Distância entre o eléctrodo de corrente e o ponto de medida do potencial.

Na prática, não se pode considerar o subsolo como um meio homogéneo, mas sim heterogéneo (Figura 4.3) logo a resistividade medida vai ser uma *resistividade aparente* (ρ_a), a qual resulta de uma média ponderada de todas as resistividades medidas num determinado volume de material numa subsuperfície considerável. Deste modo, para se estimarem as resistividades verdadeiras a partir dos dados de campo (resistividades aparentes) é necessário recorrer a um processo de “inversão de dados”.

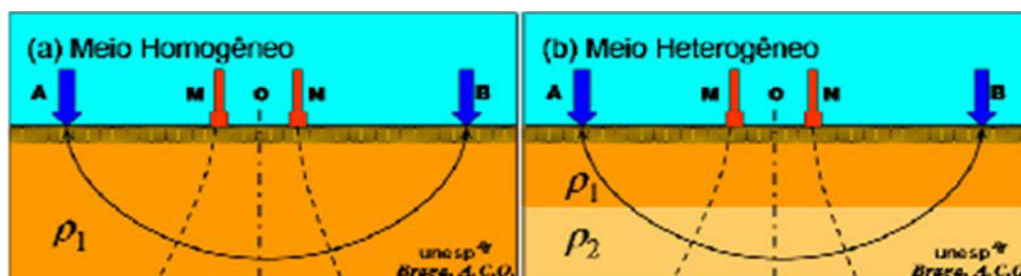


Figura 4.3 - Resistividade em meios homogêneos e heterogêneos (Braga, 2007).

A resistividade corresponde ao inverso da condutividade e, qualitativamente, é caracterizada pela dificuldade que um determinado material impõe à passagem de corrente elétrica. A *resistividade* (ρ), é dada em ohm.m e a *condutividade* (σ) é dada em S/m, sendo a relação entre elas:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (4.6)$$

A aplicação do método da resistividade elétrica consiste na introdução de corrente elétrica no terreno através de dois eléctrodos (A e B), denominados eléctrodos de corrente, sendo a queda de potencial medida através de outros dois eléctrodos (M e N), denominados eléctrodos de potencial (Figura 4.4)

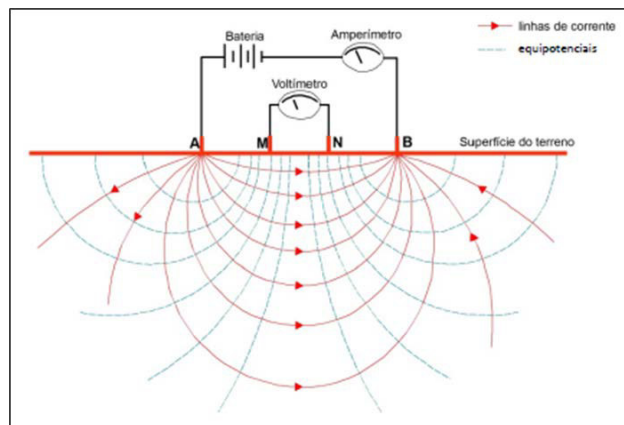


Figura 4.4 – Esquema representativo do princípio da resistividade elétrica (A e B- elétrodos de corrente; M e N- elétrodos de potencial) (Lima e Barbosa, 2011).

O valor obtido da diferença de potencial é função da resistividade aparente do subsolo e do arranjo geométrico dos elétrodos, sendo que a profundidade investigada é diretamente proporcional ao espaçamento entre os elétrodos (Orellana, 1972). Representada pelas seguintes expressões:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right); \quad V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (4.7)$$

A diferença de potencial obtida no equipamento para uma determinada posição dos elétrodos MN, é definida como:

$$\Delta V_{MN} = V_M - V_N$$

Logo:

$$\Delta V_{MN} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (4.8)$$

Obtendo-se assim, o valor da resistividade aparente do meio estudado pela seguinte expressão:

$$\rho_a = \frac{\Delta v}{I} K = R \cdot K \quad (4.9)$$

em que:

ρ_a : resistividade aparente ($\Omega \cdot m$);

k : factor geométrico (m);

ΔV : diferença de potencial (V);

I : intensidade da corrente (A);

R : resistência (Ω);

e onde,

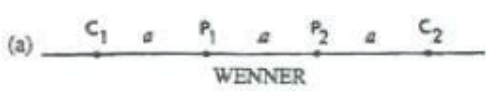
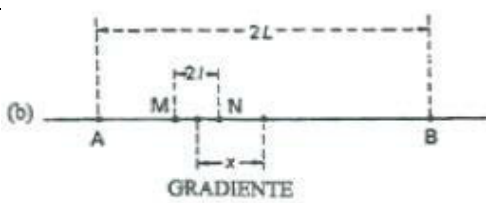
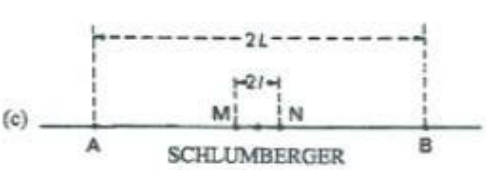


$$K = 2\pi \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (4.10)$$

Ao utilizar o mesmo arranjo elétrico num meio homogéneo e num meio heterogéneo, a diferença de potencial ΔV obtida no meio heterogéneo será diferente, pois o campo elétrico sofre alterações em função da heterogeneidade dos diferentes materiais geológicos.

4.1.1.2. Dispositivos Geoeletricos

A geometria dos eléctrodos influencia o valor da resistividade aparente a medir. O fator geométrico depende, como se disse, da disposição espacial dos eléctrodos. Na tabela 4.3 estão representados os dispositivos geoeletricos mais comuns e as suas respectivas expressões para o cálculo da resistividade.

Tabela 4.3 - Dispositivos eléctricos mais comuns e suas respectivas expressões para o cálculo da resistividade (adaptado de Sharma, 1997).

Dispositivos Geoeletricos	Expressões para o cálculo da resistividade
 <p>(a) WENNER</p>	$\rho_a = 2\pi a \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$
 <p>(b) GRADIENTE</p>	$\rho_a = \frac{\pi}{I} \frac{(L^2 - x^2)^2}{L^2 + x^2} \frac{\Delta V}{2L}$
 <p>(c) SCHLUMBERGER</p>	$\rho_a = \frac{\pi L^2}{I} \frac{\Delta V}{2L}$
 <p>(d) POLO-DIPOLO</p>	$\rho_a = 2\pi a n(n+1) \frac{\Delta V}{I}$
 <p>(e) DIPOLO-DIPOLO</p>	$\rho_a = \pi a n(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{I}$

A escolha do dispositivo a utilizar depende essencialmente das facilidades operacionais. Na tabela 3.4 estão representados diferentes casos de estudo e qual o dispositivo geoeletrico que melhor se adequa a cada caso.

Tabela 4.4 - Adequação dos dispositivos geoeletricos a cada caso de estudo (com A, B e C do mais adequado para o menos adequado) (Loke, 1999).

Dispositivos	Identificação de estruturas horizontais	Identificação de estruturas sub-verticais	Profundidade de investigação	Resposta do sinal	Cobertura horizontal
Wenner	A	C	B	A	C
Schlumberger	B	B	B	B	B
Dipolo-dipolo	C	A	B	C	A
Polo-polo	C	C	A	B	A

Os dispositivos geoeletricos mais utilizados são os dois primeiros referidos, Wenner e Schumberger.

Dispositivo de Wenner

Neste trabalho, o arranjo utilizado ao longo de todas as fases de coleta de dados foi o arranjo de Wenner. Este arranjo é um dos mais simples e mais utilizados. Aqui, os elétrodo são igualmente espaçados ao longo de uma linha.

Esta configuração é relativamente sensível a variações verticais de resistividade (estruturas horizontais), contudo é menos sensível a variações horizontais (estruturas verticais). Comparando com as outras configurações, o dispositivo de Wenner faz investigação até profundidades médias e é o que apresenta a razão sinal/ruído mais elevado. Este fato é importante quando o ruído de fundo é elevado (Loke, 1999).

Um outro fator de elevada relevância na escolha deste dispositivo é o fato dos dados recolhidos pelo arranjo de Wenner serem menos afetados pelas variações de resistividade e segundo, (Borges, 2002 e Loke, 2004), para iguais comprimentos de linha de emissão e intensidade de corrente existe uma maior resolução e profundidade de investigação do que a obtida com o dispositivo de Schlumberger.

A aplicação do dispositivo de Wenner é feita mediante a utilização de quatro elétrodo, dois de corrente (A e B) e dois de potencial (M e N), igualmente espaçados (Figura 4.5), mas cujas distâncias podem ser alteradas, em função da profundidade de investigação desejada.

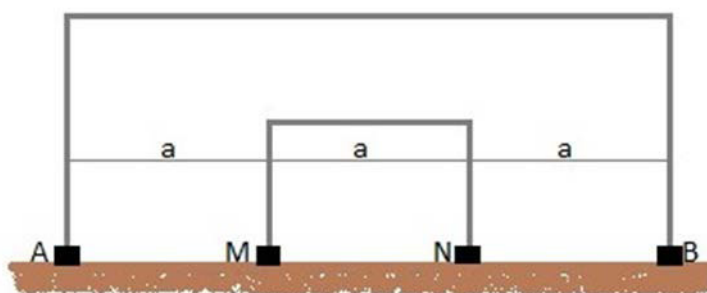


Figura 4.5 - Arranjo de Wenner (adaptado Orellana, 1972).

O fator geométrico, para o dispositivo de Wenner, é dado pela seguinte expressão:

$$K = 2\pi a$$

Substituindo o fator geométrico na expressão:

$$\rho_a = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right) = R \cdot K$$

Obtém-se que a resistividade aparente para o dispositivo de Wenner é dada pela seguinte expressão:

$$\rho_a = R \cdot 2\pi a$$

No entanto, e de acordo com (Carpenter & Habberjam, 1956), dependendo do arranjo entre os elétrodos de corrente e de potencial o Arranjo de Wenner pode ter três denominações: Wenner alfa, Wenner beta e Wenner gama. Sendo o fator geométrico definido da seguinte forma:

$$\text{Wenner alfa: } K=2\pi a$$

Wenner beta: $K=6\pi a$

Wenner gama: $K=3\pi a$

Sempre que num trabalho não existe indicação para qual o tipo de arranjo a utilizar, deduz-se que a partida é o Wenner alfa, pois é o mais utilizado e comumente denominado apenas por Wenner.

Dispositivo de Schlumberger

Neste dispositivo (Tabela 4.3 (c)), os elérodos de corrente (A e B) são espaçados com distância superior à distância entre os elérodos de potencial (M e N). O fator $2l$ é a distância entre os elérodos de potencial M e N, e $2L$ é a distância entre os elérodos de corrente A e B. Este, é um dispositivo simétrico em que a distância entre os elérodos M e N é constante e pequena considerada com a distância entre os elérodos A e B. Pretendendo que a corrente atinja profundidades maiores aumenta-se a distância entre os elérodos de corrente.

Tem como vantagens, o fato de as leituras neste arranjo estarem menos sujeitas a: variações laterais no parâmetro físico medido, irregularidades na superfície topográfica e ruídos produzidos por fontes artificiais (Braga, 2007).

4.1.1.3. Técnicas de aquisição de dados

Os estudos de resistividade elétrica têm como principal objetivo estimar a distribuição espacial de resistividade, quer seja na vertical, horizontal ou ambas.

As principais técnicas de aquisição de dados são as sondagens elétricas (SEV), segundo a dimensão vertical (1D) e as pseudo-seções (2D). No entanto, existe ainda a resistividade (3D) e o perfil de resistividade (1D).

As sondagens elétricas verticais (SEV) permitem medir variações verticais nas propriedades elétricas numa dada secção geológica. Os dados das sondagens elétricas obtêm-se com vários espaçamentos entre elérodos, geralmente, segundo uma progressão geométrica (Martinho, 2002). Um exemplo de aplicação é na procura do nível freático. No entanto, esta técnica é muito limitada porque na geologia é frequente encontrar variações laterais da natureza dos materiais e respetivos valores de resistividade (Loke, 1999).

As pseudo-seções permitem representar a distribuição vertical e horizontal de resistividade, sem necessidade de deslocar todo o arranjo de sítio ao longo de uma linha de prospeção. Esta é das técnicas mais utilizadas funcionando, normalmente, com uma linha com vários elérodos e um resistivímetro com capacidade para alterar automaticamente as funções dos elérodos responsáveis pela medição. São obtidos valores de resistividade a várias profundidades e em vários pontos ao longo da linha de prospeção. No entanto, é assumido que não existem variações na direção perpendicular à linha de prospeção.

Neste trabalho consideraram-se modelos 2D para a distribuição de resistividade, representados sob a forma de pseudo-seções.

4.2. Aplicações

Os métodos geoeletricos são utilizados para fins muito variados, ou seja, a informação obtida no subsolo pode ser utilizada com diversos fins. De um modo geral, e segundo (Orellana, 1972) as aplicações mais importantes dos diferentes métodos elétricos são as seguintes:

- a) Estudos para a localização de água subterrânea;
- b) Investigações técnicas para a investigação de petróleo;
- c) Detecção de Cavidades;
- d) Estudos complementares para a cartografia de baixo recobrimento;
- e) Estudos de bacias de carvão;
- f) Prospeção de massas minerais;
- g) Localização de depósitos de minerais úteis, especialmente minerais metálicos;
- h) Caracterização Geotécnica;
- i) Investigações de fundações e deslizamentos de terra para Engenharia Civil;
- j) Monitorização de terrenos sujeitos a técnicas de remediação;
- k) Localização e medição aproximada de minerais de construção;
- l) Investigação a profundidades muito reduzidas, para localização de objetos e edificações enterradas para ajuda nas investigações arqueológicas;
- m) Estudos de zonas profundas da crosta;
- n) Monitorização de processos subterrâneos como recarga de aquíferos, infiltração, intrusão salina, túneis e infiltração em barragens;
- o) Detecção de Plumas de contaminação;
- p) Estudos geotérmicos;
- q) Mapas litológicos.

4.2.1. Vantagens e limitações

Segundo (Lima e Barbosa, 2011), entre as vantagens do método da resistividade elétrica na prospeção de águas subterrâneas, pode citar-se a rapidez de execução, o tratamento e interpretação dos resultados, assim como os baixos custos de execução. O facto de se poderem utilizar vários eléctrodos em simultâneo e fazer-se o controlo remoto de injeção de corrente nos eléctrodos de forma sequenciada e pré-estabelecida, complementada com a aquisição automática das leituras por computador e o respetivo tratamento informático, atribuem também importantes vantagens a este método de prospeção.

Porém, apresenta algumas limitações, tais como, a baixa resolução para meios com descontinuidades laterais, interpretação ambígua e limitada a configurações estruturais simples, profundidade de penetração do método limitada pela máxima potência elétrica que pode ser introduzida no solo, além de que a topografia e as variações nas resistividades superficiais podem “mascarar” as variações mais profundas (Rocha *et al.*, 2003). Pode também ser considerada como limitação o facto de o método não ser muito rápido e ser necessário pelo menos 2 ou 3 operadores no campo e com uma certa experiência.

Capítulo 5 – Desenvolvimento metodológico e aplicação a um caso de estudo

Como foi referido anteriormente, a técnica utilizada é a técnica da Pseudo-Secção, que se fundamenta na realização de medidas de resistividade aparente ao longo de uma linha, com o objetivo de investigar variações laterais a várias profundidades.

Hoje em dia, existem no mercado vários resistivímetros com a capacidade de executar de forma automática as Pseudo-seções, facilitando todo o processo de aquisição de dados.

Estes sistemas multieléctrodo têm a capacidade, tal como o nome indica, de utilizar diversos eléctrodos e efetuar combinações entre eles de forma automática, ou seja, realizam várias SEV sem necessidade de deslocar o equipamento. O sistema é controlado por um processador, sendo possível seleccionar o dispositivo pretendido e inserir os parâmetros de aquisição de dados, incluindo os espaçamentos mínimo e máximo entre os eléctrodos, que determinam a amplitude da profundidade de penetração da corrente eléctrica e, consequentemente, a profundidade de investigação. Naturalmente que, à medida que a distância entre os eléctrodos aumenta, o número de combinações diminui, o que se traduz numa diminuição da quantidade de dados com o aumento da profundidade de investigação. Em consequência, a geometria da secção de aquisição de dados assume um aspeto triangular, de tal modo que a profundidade de investigação é máxima no centro do dispositivo e mínima nos extremos (Figura 5.1).

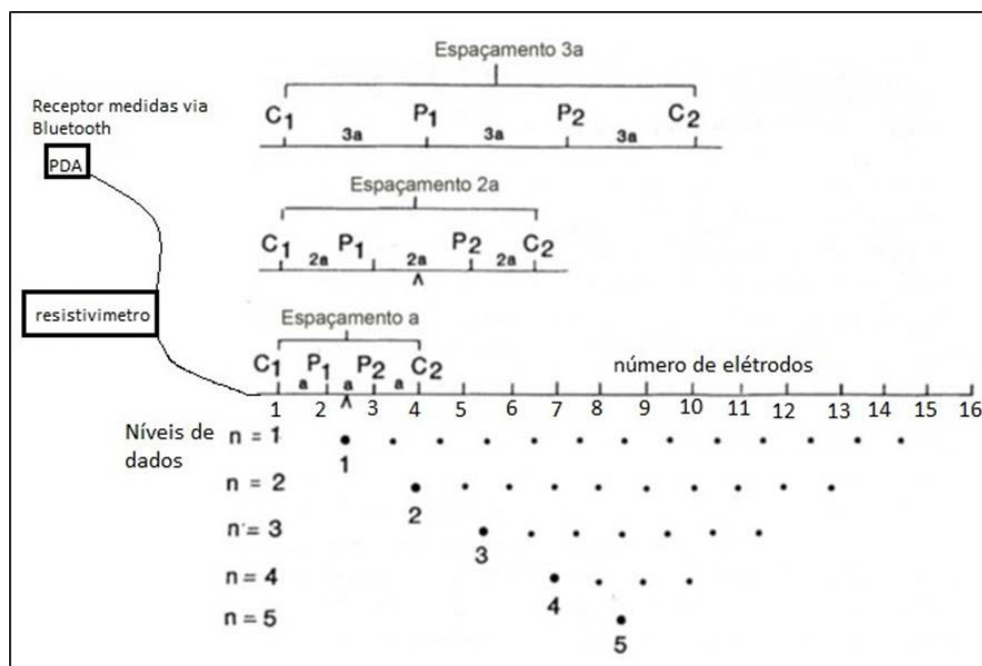


Figura 5.1- Representação esquemática do processo de aquisição de dados de resistividade com sistema multieléctrodo e geometria da respectiva secção (adaptado de ABEM, 2007).

Esta forma de aquisição de dados, Pseudo-seção, realizando várias SEV ao longo de um perfil, permite a representação dos dados num plano vertical com a direcção do perfil, a qual reflete a variação da resistividade aparente no subsolo, constituindo assim o primeiro passo na interpretação qualitativa dos dados. Desta forma, a pseudo-seção não representa a distribuição real da resistividade dos materiais,

mas apenas a resistividade aparente do volume de material envolvido na transmissão da corrente elétrica injetada, em função da posição dos elétrodos e da profundidade de penetração (Lima e Barbosa, 2011).

Uma interpretação mais rigorosa dos dados de resistividade elétrica requer a modelação dos dados obtidos, através da resolução do problema inverso, ou seja, a partir dos valores de resistividade aparente procura-se estimar os valores reais de resistividade das formações que conduziram à distribuição dos valores de resistividade aparente presente na pseudosecção (Lobarinhas *et al.*, 2011). Deste modo, é necessário a utilização de “software” específico, como o RESD2INV, que é um dos mais divulgados, e o utilizado neste trabalho.

Neste trabalho, foi utilizado um equipamento designado de “Super Digital Resistivity WDA-1 DC”, sobre o qual existia o objetivo de o colocar em funcionamento e verificar a veracidade dos seus resultados. A obtenção de um mapa com a distribuição da resistividade em profundidade envolve os seguintes passos:

- Escolha do equipamento (caso seja possível)
- Planeamento da prospeção;
- Escolha do dispositivo elétrico;
- Colocação dos elétrodos no solo e ligação dos cabos;
- Obtenção e registo das leituras;
- Transferência dos dados para o computador;
- Processamento por inversão.

5.1. Equipamento WDA-1

O Resistímetro WDA-1 (Figura 5.2) é um sistema multieléctrodo, que usa tecnologias avançadas, tais como; computadores portáteis, Bluetooth, 24bit A/D e controle de alta potência, que fazem dele um bom equipamento e muito prático de utilizar.



Figura 5.2- Resistímetro WDA-1.

Uma das suas principais características é o facto de ser compacto e muito leve, o que facilita no seu transporte e deslocação. No entanto, possui outras características, tais como:

- a) Realiza medidas de resistividade com apenas um ou dois eléktrodo de corrente e um ou dois eléktrodo de potencial, necessitando apenas de uma fonte de alimentação.
- b) Gera imagem resistividade multi-eléktrodo: 2D/3D quando trabalha em conjunto com cabos de resolução multi-eléktrodo, eléktrodo e fonte de alimentação.
- c) Permite utilizar cabos inteligentes com eléktrodo duplo: impolarizáveis para polarização induzida (IP) e de corrente.
- d) Usa uma fonte de tensão externa que pode atingir no máximo 800Volt.
- e) Portátil e Flexível - num único dispositivo, pequeno e leve, estão projectadas a unidade transmissora e receptora.
- f) Utiliza a tecnologia sem fios, Bluetooth. Com o Bluetooth pode-se controlar o quadro principal (resistivímetro WDA-1) até 10m de distância. Permitindo ter sempre o controlo da amostragem, definindo todos os parâmetros e medições efetuadas, bem como a transferência dos dados para um Computador.
- g) Permite a aquisição de dados utilizando 16 tipos de arranjos diferentes.
- h) Os dados são controlados pelo PDA, através da tecnologia Bluetooth, com um Software de fácil utilização. No entanto, também é possível em vez do PDA utilizar um Computador portátil.

Este equipamento no seu conjunto é constituído por:

- Resistivímetro (WDA-1);
- PDA;
- Cabos eléctricos (cabos inteligentes) são seis cabos com 100 metros cada um e com espaçamento entre os eléktrodo de 10metros;
- Eléktrodo corrente (estacas em aço inoxidável);
- Eléktrodo potencial (Figura 5.3);
- Conversor de corrente (AC em DC);

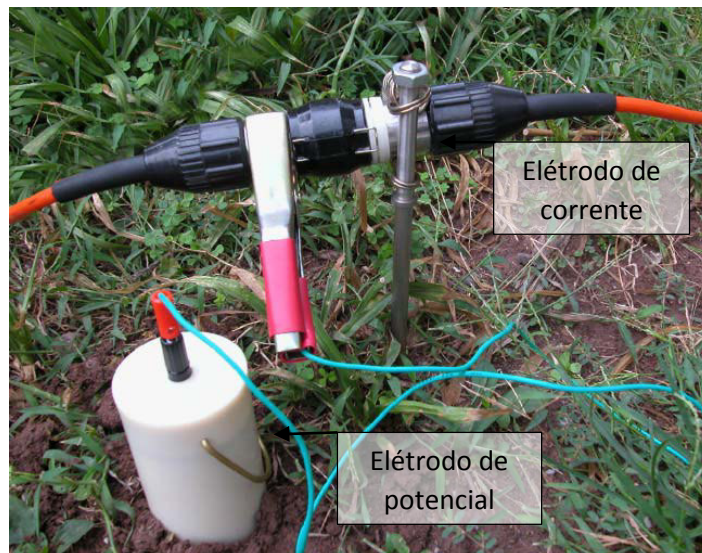


Figura 5.3- Eléktrodo de potencial e de corrente, (www.wtsgeo.com).

5.2.1. Planeamento da Campanha de Prospeção

Antes da realização de uma campanha geofísica com o método da resistividade eléctrica, é necessário fazer um reconhecimento da área em questão.

O material necessário e recomendável para um trabalho de campo, como o que foi desenvolvido, é o seguinte:

- Resistivímetro (WDA-1);
- Bateria externa;
- Sistema de Potência (designada por caixa cinzenta);
- Eléktrods (estacas de aço);
- Cabo elétricos (cabos inteligentes);
- Martelo;
- Fita métrica;
- Borrachas para ligação entre as estacas e o cabo principal;
- Garrafão com água e sal;
- Foíce para limpar o terreno;
- Estacas sinalizadoras;
- GPS;
- PDA;
- Computador portátil para transferência e interpretação dos dados;
- Máquina fotográfica;
- Caderno de campo.

Após a observação das condições existentes no terreno e depois de verificadas a topografia, a existência de camada no solo facilmente penetrável pelas estacas, a vegetação, árvores e mato que podem ser um grande obstáculo à colocação dos eléctrods e possibilidade de realização de uma linha recta, pode iniciar-se a colocação dos eléctrods.

Neste trabalho, antes da colocação dos eléctrods foi necessário cortar todo o mato de forma a abrir uma linha para a colocação dos eléctrods (Figura 5.4).



Figura 5.4 - Desmatação da área para abrir uma linha e colocar os eléctrods.

Terminada esta etapa, que pode demorar várias horas, procede-se finalmente a colocação dos eléctrods (Figura 5.5). A colocação dos eléctrods no terreno é realizada com o apoio de uma fita métrica e martelo. Os eléctrods são espaçados com um intervalo previamente definido. No presente trabalho foram utilizados espaçamentos de 5 m e 10m.



Figura 5.5 - Colocação dos elétrodos no terreno e ligação ao cabo.

Depois desta etapa, esticam-se os cabos ao longo da linha de prospecção, sempre com o cuidado de deixar no início da linha a ponta do cabo que liga ao resistivímetro. Após estar esticado o cabo liga-se aos respectivos elétrodos e por último ao resistivímetro, como representado na Figura 5.6.



Figura 5.6 - Ligação do cabo (cabo a laranja) ao resistivímetro (caixa amarela).

No entanto, antes da ligação foi necessário, com auxílio de garrações, regar os elétrodos com água e sal, para deste modo diminuir as resistências de contacto e obter melhores resultados, como verificado na Figura 5.7.



Figura 5.7 - Regar os elétrodos com água e sal.

Todo o processo de preparação do terreno e colocação dos elétrodos juntamente com a fase final de retirada dos mesmos é um processo moroso e fisicamente exigente, principalmente quando se fala em

grandes espaçamentos entre elétrodos. Assim sendo, é aconselhável uma equipa de pelo menos três pessoas.

Uma dica importante é no final durante a recolha do material se devem recolher primeiro os elétrodos e só por último o cabo, pelo facto que os elétrodos podem perder-se facilmente no meio da vegetação.

Por fim, após ligar o cabo ao resistivímetro e verificar se as ligações estão bem feitas, procede-se á aquisição de dados. A obtenção das medidas é feita de forma automática, com a ajuda do PDA, sem necessidade de intervenção do operador. Os dados são transferidos do resistivímetro para o PDA via Bluetooth.

Este processo de obtenção de dados, ou seja, obtenção das leituras e visualização da pseudo-secção no PDA (Figura 5.8), pode demorar entre 20 a 30 minutos, dependendo do número de pontos a medir. No final, os dados são exportados pelo sistema num formato de texto para poderem ser corrigidos e processados no computador com o programa RES2DINV, através da técnica de inversão de dados.

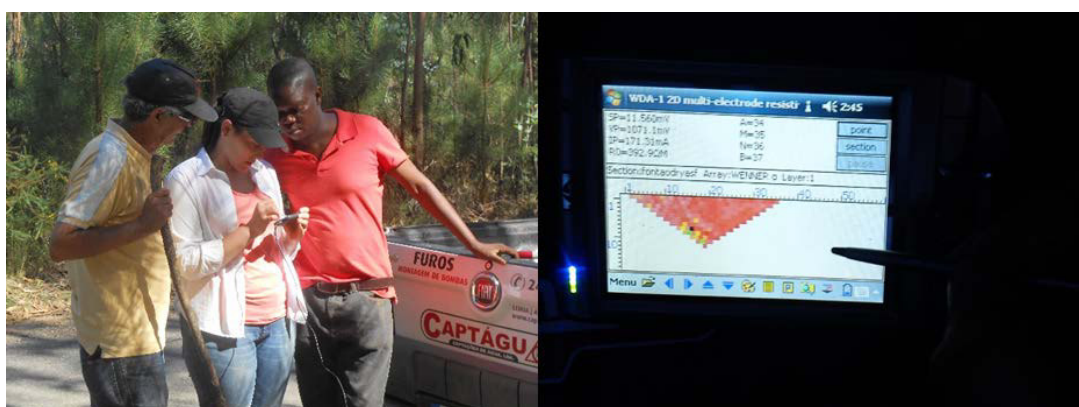


Figura 5.8 - Obtenção dos dados pelo PDA e visualização das respectivas pseudo-secções.

Para realização de um teste no campo com 4 cabos de 100m cada correspondendo a 40 elétrodos espaçados de 10m, já com todo o processo programado anteriormente, com uma equipa de 3 pessoas e com as condições encontradas no Fontão em que cerca de metade do trajeto foi necessário cortar mato a duração foi de um dia de trabalho.

5.2. Caso de estudo

Mantendo sempre o foco no principal objetivo, colocar o equipamento a funcionar, houve a necessidade de experimentar o equipamento em locais com geologias diferentes (sedimentar e cristalino), visto como já foi referido anteriormente, a geologia e principalmente a capacidade que os minerais têm em ser bons condutores ou não de corrente elétrica ser um fator fundamental no sucesso de um teste de resistividade elétrica.

Uma das áreas de estudo foi o Fontão (xisto de Arada), onde foram realizados 4 teste de resistividade elétrica, na qual em paralelo com os testes de resistividade também foi realizada uma recolha de informação a nível da geologia e geologia estrutural. Foi um trabalho realizado em conjunto com um outro colega (Carlos Bonga), sob orientação do Prof. Dr. Fernando Ernesto Rocha de Almeida, o qual tinha como título na sua tese “Prospecção Geoelétrica de água subterrânea no Fontão, Angeja-Portugal”.

No entanto, antes de realizar qualquer tipo de teste na área em estudo, foi necessário testar o equipamento para perceber quais as dificuldades e necessidades existentes.

O primeiro teste foi realizado na zona de Vagos, nas imediações do estaleiro da Empresa, o qual teve como objetivo perceber qual o ponto da situação, ou seja, quais as falhas que existiam que impossibilitavam a sua utilização e acima de tudo perceber como funcionava.

Ultrapassadas as primeiras dificuldades, realizou-se um segundo teste, na relva entre os dois Poços em frente ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. Tinha como objetivo, após um estudo aprofundado do funcionamento do equipamento, testar o equipamento e deste modo, verificar o bom funcionamento do equipamento.

Existia a necessidade, em paralelo com o objetivo de testar o equipamento, de também perceber que profundidade seria possível atingir. Deste modo, surgiu o estudo do Fontão, que devido à sua geologia era de esperar que se atingissem profundidades mais elevadas que as realizadas no teste experimental. Este estudo, com a técnica das pseudo-seções, como já foi referido anteriormente foi realizado em conjunto com outro colega, o qual lhe permitiu completar a informação que haveria adquirido anteriormente com a técnica das SEVs.

Antes de partir para a zona do Fontão, surgiu a possibilidade de realizar um teste no sedimentar na Zona de Vagos nas imediações de uma vacaria. Este teste permite essencialmente, fazer o contraste entre os resultados obtidos em zonas com geologias distintas (sedimentar e cristalino). Sendo que, nesta zona se trata de cobertura sedimentar que assenta sobre a estrutura antiga da linha de costa.

5.2.1. Enquadramento Geográfico, Geomorfológico e Geológico

A área em estudo localiza-se no concelho de Albergaria-a-Velha, na aldeia do Fontão, a nordeste do Rio Vouga e de Angeja, a cerca de 12 Km da Cidade de Aveiro (Figura 5.9).

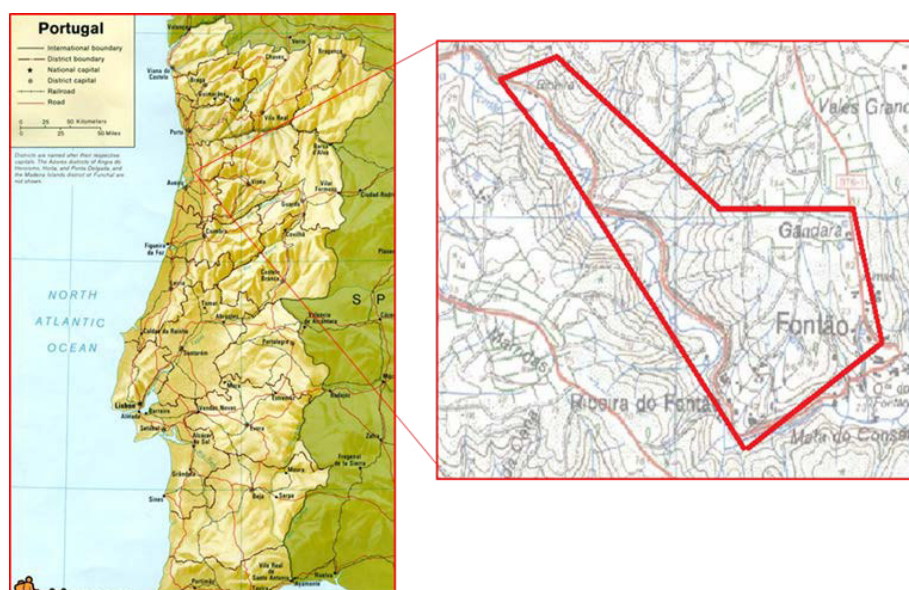


Figura 5.9 - Localização da área de estudo.

A nível geomorfológico, esta região faz parte da superfície aplanada de largura e altitude variáveis (não ultrapassam os 250m) que acompanha todo o litoral oeste de Portugal e que se designa de plataforma litoral (Ferreira, 1983 e Daveau, 1995). O relevo, na área em estudo, apresenta-se mais acidentado comparativamente com as áreas mais a Oeste. É composto por elevações estreitas e alongadas, com topos aplanados e vertentes muito íngremes, fortemente marcadas pela rede hidrográfica. Os relevos são interrompidos por vales encaixados constituídos pela Ribeira do Fontão e os seus afluentes.

A nível geológico, a região estudada abrange rochas metamórficas antigas de idade proterozóica pertencentes à Zona de Ossa Morena do Maciço Ibérico, e rochas sedimentares mais recentes que fazem parte da Orla Meso-Cenozóica (Figura 5.10).

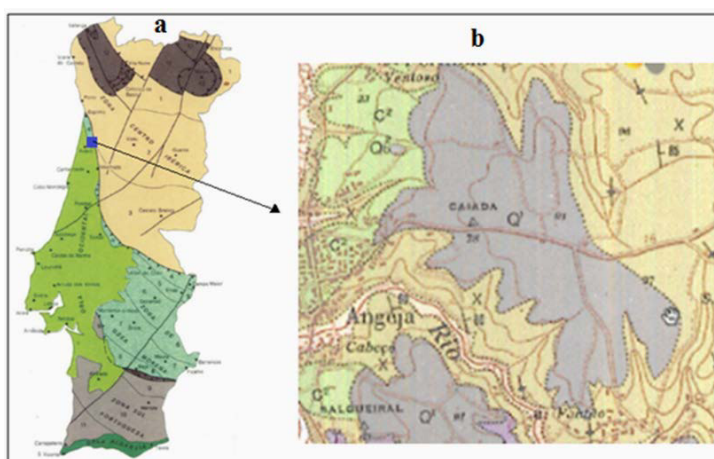


Figura 5.10 - Enquadramento geológico da área de estudo: a – Extraído da Carta Geológica á escala 1:500000. Serviços geológicos de Portugal; b – adaptado da Geoporta, LNG, (2014).

As formações mais antigas, pertencentes à zona de Ossa Morena, são formadas por filádios ricos em grafite e que constituem o prolongamento dos afloramentos da Formação do xistos de Arada cartografados na carta geológica de Ovar. Apresentam uma anisotropia planar tectónica bastante penetrativa de atitude geral NNW-SSE, subvertical. Sobreposto a esta formação ocorrem cascalheiras, ou seja, depósitos de cobertura do quaternário, (Figura 5.11).

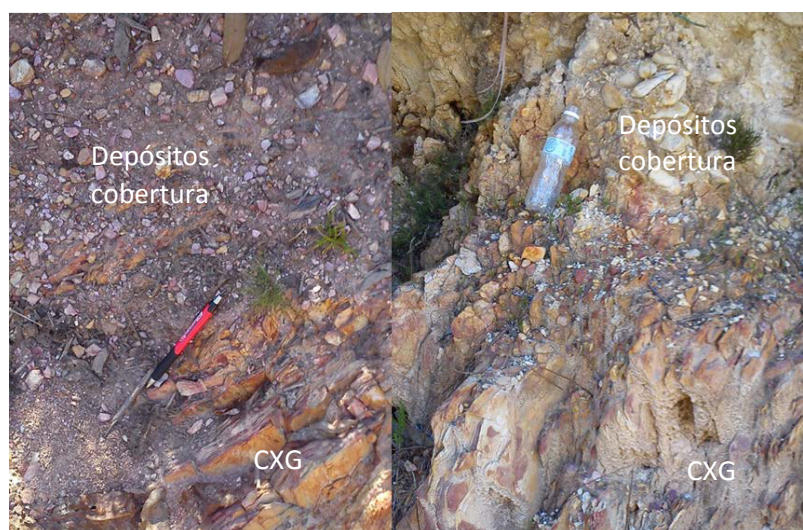


Figura 5.11 - Xistos cobertos por depósitos de cobertura (cascalheiras).

Estes filádios, de idade Pré-câmbrico, foram metamorfizados durante a orogenia varísca e foram afectados pelo cisalhamento dúctil, de movimentação direita, de Porto-Tomar. Esta formação está parcialmente coberta por litologias mais recentes de idade Triássico e/ou Cretácico e/ou Quaternário pertencentes à orla meso-cenozóica.

As formações do Triássico são rochas sedimentares (conglomerados, arenitos e alguns níveis pelíticos) de tom tipicamente avermelhado. Na base predominam os conglomerados com clastos de grandes dimensões (por vezes de granito porfiroíde e de quartzito) e para o topo os sedimentos são mais finos. As camadas inclinam, em geral, 10 a 15° para SW (Teixeira et al., 1976). Na área de Frossos os conglomerados do Triássico assentam directamente em cima dos xistos de Arada (Teixeira et al., 1976).

Seguem-se, temporalmente, as formações do Cretácico. São formados por arenitos, argilitos e alguns níveis calcários (Teixeira et al., 1976).

As formações do cenozóico, de idade plio-pleistocénico, estão, principalmente, relacionadas com depósitos sedimentares, a diferentes níveis, de praias antigas. Trata-se, frequentemente, de depósitos de cor clara, pouco consolidados de cascalheiras, por vezes muito espessos. O nível mais representado, na área estudada, é o nível que ocorre a 80-90m de altitude.

A litologia dos clastos é muito variada (quartzo, quartzito, gneisse, granito e xisto), assim como o seu grau de arredondamento. É visível a imbricação dos clastos e, nalguns casos, uma abundante matriz fina micácea ou argilosa de cor acinzentada. Nos terraços mais elevados nota-se que alguns clastos de quartzo e quartzito apresentam forte alteração química, com penetração irregular, conferindo aos clastos um aspecto cariado.

Estes factos levam-nos a admitir que alguns dos materiais que alimentaram estes terraços devem provir de depósitos mais antigos, nos quais se encontram clastos semelhantes e em avançado estado de alteração (Gomes, 2008).

Todas as formações referidas foram sujeitas a fracturação tardi-pós varisca testemunhando o regime frágil. As falhas tardi-variscas, com comprimento que pode ter várias centenas de quilómetros, apresentam duas orientações preferenciais

- NE-SW a NNE-SSW ;
- NW-SE a NNW-SSE (conjugadas das anteriores);
- N-S falhas associadas ao relevo marginal do litoral.

Além de outros factores como o relevo e a geologia, o clima exerce influência sobre a produtividade dos aquíferos controlando a profundidade e a natureza da meteorização, além de regular a recarga (Custódio e Llamas, 1996).

A nível hidrogeológico, a região sedimentar de Aveiro possui dois grandes sistemas aquíferos: o sistema aquífero Quaternário de Aveiro e o sistema multiaquífero Cretácico de Aveiro. O sistema aquífero Quaternário de Aveiro é definido, essencialmente, por sedimentos detríticos de idades Plistocénicas e Holocénicas, formado fundamentalmente por níveis de praias marinhas e depósitos fluviais associados.

Constituem unidades aquíferas do tipo freático ou semiconfinado, por vezes de carácter local. Esta unidade é facilmente recarregada pelas precipitações locais. Na área em estudo ocorre este tipo de aquífero livre associado aos depósitos de cobertura.

O local em estudo é caracterizado por existirem diversas fontes espalhadas pela zona, que segundo se apurou em conversa com os habitantes, mantêm o mesmo caudal ao longo do ano. Deste modo, conclui-se que a água das nascentes não provem apenas da recarga do aquífero livre mas sim provavelmente do sistema de fraturas que afeta o local, sendo este extremamente afetado por um sistema de falhas.

5.2.2. Apresentação e análise de resultados – Fontão

São apresentados os resultados geofísicos obtidos com a técnica das Pseudo-seções, utilizando o dispositivo de Wenner, obtidos na área em estudo – Fontão.

No entanto, como referido anteriormente, para a análise de qualquer problema geofísico é fundamental a apresentação das observações geológicas de campo. Assim sendo, fez-se um levantamento na área em estudo das litologias aflorantes e da geologia estrutural (relativos as atitudes das fraturas mais importantes). Na figura 5.12, está representado o mapa geológico, em que estão representadas as litologias, a fracturação, as nascentes existentes na zona e as quatro pseudo-seções realizadas (P1, P2, P3 e P4).

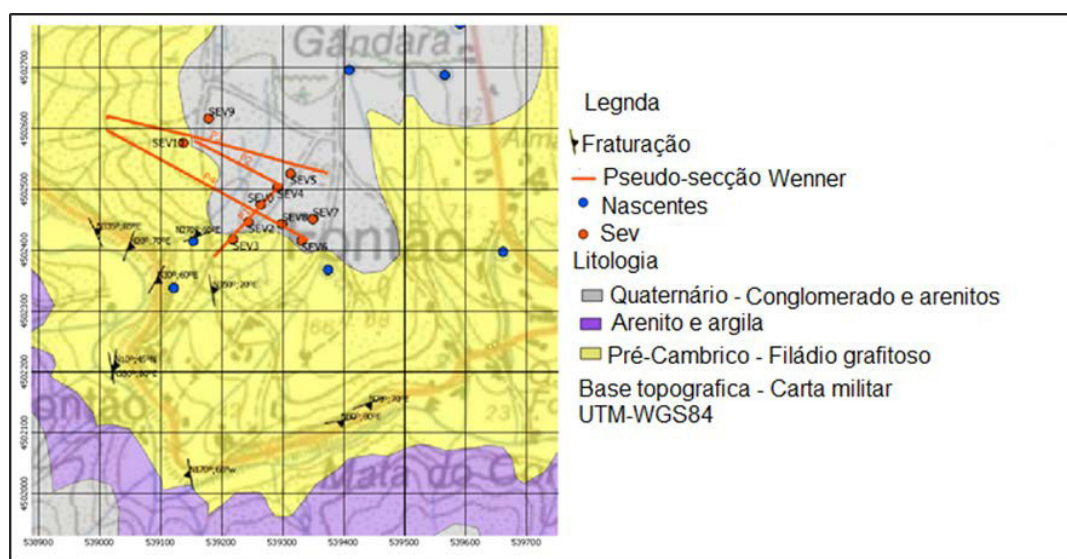


Figura 5.12 - Mapa litológico da área de estudo e localização das pseudo-seções, (Bonga, 2014).

Relativamente às litologias observáveis, verificou-se que afloram rochas sedimentares detríticas (conglomerados e arenitos de idade Quaternária e Triássica) e rochas metamórficas (filádios, geralmente, grafitosos com intercalações de bancadas metapsamíticas e com veios de quartzo).

Os filádios apresentam uma clivagem xistenta bastante penetrativa, de atitude N10°W. No entanto, esta atitude é modificada pela presença de diferentes tipos de dobras (plano axial vertical N10°, tipo Chevron e tipo Kink de plano axial subhorizontal).

A fracturação é evidente nos filádios ao longo de toda a área. Localmente é composta por um importante sistema de desligamento com fraturas sub-horizontais e conjugadas que afetam todas as estruturas existentes mediante uma orientações N-S, NW-SE e E-W.

5.2.2.1. Modelo de Resistividade elétrica- Pseudo-Secção 1

A Pseudo-Secção P1 (Figura 5.13) foi obtida com uma linha de Prospeção de 140m, com 29 elétrodos e espaçamento entre eles de 5 metros. Verifica-se uma falta de resolução nas camadas mais superficiais, mas é possível verificar variações laterais ao nível do substrato rochoso. É possível verificar que as variações laterais de resistividade são compatíveis com uma estrutura verticalizada que se encontra de acordo com a fracturação dominante na região.

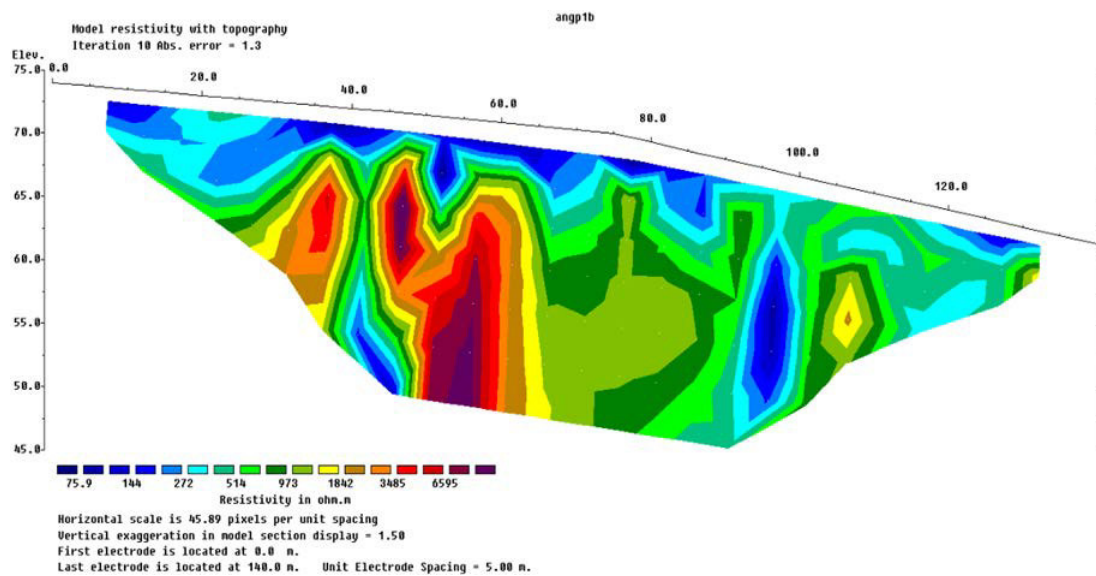


Figura 5.13 - Pseudo-Secção P1- Modelo de Resistividade.

A resistividade aparente obtida variou entre 75.9 a 6595 $\Omega.m$. A nível de resistividade elétrica verificou-se uma grande variabilidade o que caracteriza um meio muito heterogéneo.

As resistividades mais baixas aparecem representadas, de um modo geral, á superfície variando entre 75.5 a 272 $\Omega.m$. Estas representam a camada mais condutiva entre as cotas 63 e 65 m, representando o aquífero livre com profundidades entre os 1.5 a 8.5 m.

Encontra-se uma zona seca, logo abaixo da camada condutiva, que está representada por valores de resistividade que variam entre os 514 a 6595 $\Omega.m$. A cortar esta zona seca existem, apenas pontualmente, algumas zonas de fracturação. Correlacionando estes valores com os obtidos no estudo já referido anteriormente “Prospeção Geoeletrica de água subterrânea no Fontão, Angeja” obtidos pelas SEV é possível concluir que estes valores mais elevados de resistividade correspondem ao substrato de Xisto de Arada.

Aos 42.5 m, da linha de prospeção, ocorre um contraste de resistividade elétrica representado por valores mais baixos entre os 75-272 $\Omega.m$, que possivelmente se trata de uma fratura com água. Entre os

98 a 105 m, regista-se outra zona de baixa resistividade com valores entre 75.9 a 272 Ω .m. Estes valores representam possivelmente outra zona de falha preenchida com água.

5.2.2.2. Modelo de Resistividade elétrica- Pseudo-Secção 2

A Pseudo-Secção P2 (Figura 5.14) teve o mesmo início da linha da pseudo-secção P1 e foi obtida com uma linha de Prospeção de 150m e com espaçamento entre os elétrodos de 5 metros, igual a linha de aquisição anterior. No entanto, a linha P1 teve sentido NNE-SSE e a linha P2 teve sentido ESSE-WNW.

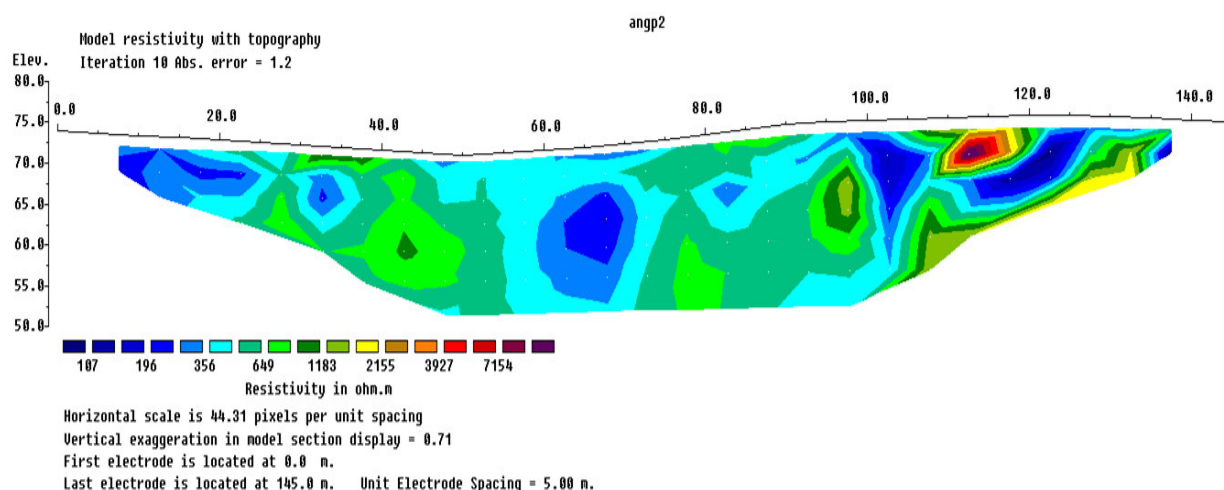


Figura 5.14 - Pseudo-secção P2 – Modelo de Resistividade.

À superfície é possível verificar a ocorrência dominante de camadas que apresentam resistividades relativamente baixas, entre os cerca de 190 a 356 Ω .m. Estes valores podem verificar-se ao longo da linha (entre os 0 a 25 m, 55 a 65 m, 100 a 105 m e 120 a 127 m).

Dos 55 aos 65m, e atingindo uma profundidade de cerca de 21 m, cortando toda a pseudo-secção, foi possível interpretar os dados correlacionando-os com os dados encontrados á superfície. À superfície, nessa zona onde passa a linha de prospeção, foi possível observar o nível de água superficial num poço existente (Figura 5.15) e que se situa próximo da linha de água. Sendo este facto indicador de que possivelmente esta seja uma zona de fratura ou de contacto.



Figura 5.15 - Poço de água.

Os restantes valores de resistividades mais baixas, tal como na pseudo-secção anterior, representam resistividades próprias de sedimentos detríticos assentes em xisto fraturado com água, o que corresponde á geologia característica do local.

5.2.2.3. Modelo de Resistividade elétrica- Pseudo-Secção 3

A Pseudo-Secção P3 (Figura 5.16) foi obtida com uma linha de Prospeção de 390 m, no entanto esta já foi obtida com espaçamento entre elétrodos de 10 m, não seguindo o exemplo das anteriores. Relativamente ao sentido, esta segue um sentido equivalente ao da P2, estando situada a alguns metros acima da mesma e adquirindo uma linha de prospeção muito superior.

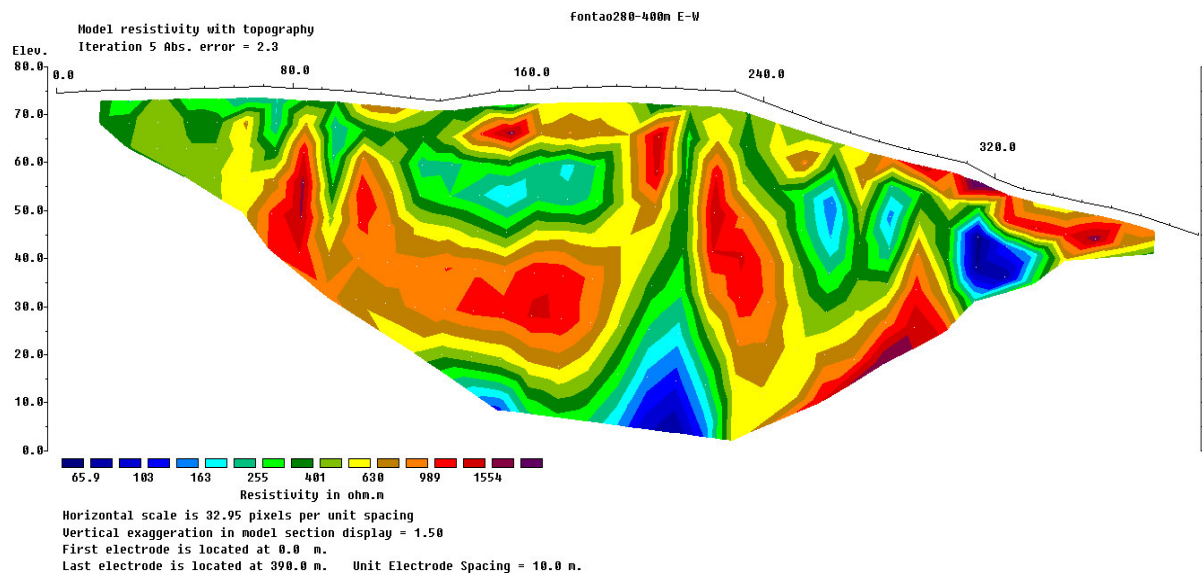


Figura 5.16 - Pseudo-secção P3 – Modelo de Resistividade.

A zona superficial apresenta valores de resistividade entre os 300 a 1554 $\Omega.m$, que representam sedimentos detríticos do quaternário (cascalho, areia e silte) e fragmentos de xisto da formação mais antiga.

Intercalados com estes valores estão representados valores de resistividade mais baixos, entre os 65 a 165 $\Omega.m$, representando zonas não homogêneas que podem corresponder a fraturas ou a um manto de alteração. Isto verifica-se pelo facto de os valores de resistividade aparente relativamente baixos, 100 $\Omega.m$, podem resultar da fragmentação e alteração da rocha em áreas localizadas possibilitando assim a acumulação de água nos poros da rocha.

A anomalia mais relevante está localizada aos cerca de 215 m da linha, estando representada em profundidade em toda a pseudo-secção, poderá estar ligada com as nascentes em estudo, isto porque, a área apresenta características de uma zona de falha compatível com a direção principal de fracturação (N10°-20° e mergulho 80°E).

5.2.2.4. Modelo de Resistividade elétrica- Pseudo-Secção 4

A Pseudo-Secção P4 (Figura 5.17) surgiu devido ao facto de o equipamento após ser testado e após vários testes se verificar um equipamento muito útil e prático, ter-se tornado alvo de interesse por parte

de uma empresa. Assim, a empresa alugou o equipamento e em acordo decidiu fazer-se o teste (na qual a empresa interessada aprendia a funcionar com o equipamento) na mesma zona em estudo, visto a geologia apresentar características semelhantes às encontradas no local onde eles pretendiam fazer o trabalho. Deste modo, com a realização de mais um perfil, foi possível caracterizar melhor a área em estudo e também testar melhor as capacidades do equipamento.

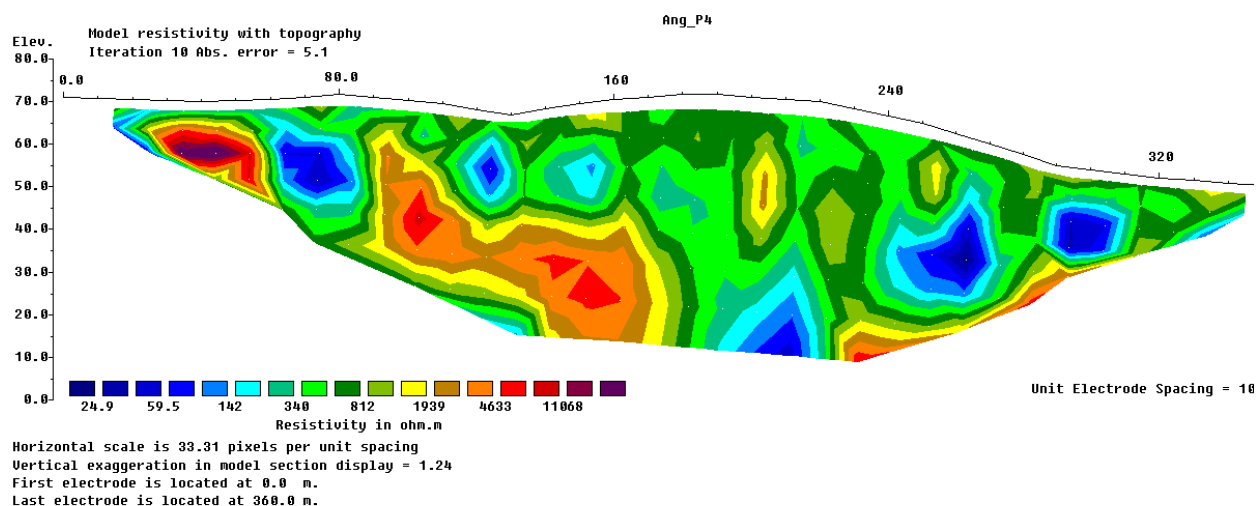


Figura 5.17 - Pseudo-secção P4 – Modelo de Resistividade.

A linha de Prospeção atingiu os 360 m, com espaçamento entre os elétrodos igual ao anterior, 10 m, e com orientação E-W.

A zona mais á superfície é caracterizada por valores de resistividade muito heterogéneos, variam entre os 300 e os 1000 Ω .m. Estes valores explicam-se devido a mistura de materiais que caracterizam a cobertura de sedimentos de coluviões, cascalho, areia, silte e alguma argila existente na área.

Tal como no perfil anterior, é possível verificar a presença de anomalias representadas por valores de resistividade mais baixos, supostamente associados a zonas saturadas em água, representadas por valores de resistividade inferiores a 100 Ω .m. Estas zonas estão centradas as distâncias de 72, 127, 215, 265 e 309 m da linha de prospeção. E podem representar fraturas que afetaram o xisto permitindo a interação da água com a rocha na formação de um manto de alteração mais espesso.

À distância de 215 m, tal como na pseudo-secção P3, encontra-se uma anomalia mais relevante relativamente aos baixos valores de resistividade. Esta zona, tal como os valores anteriores, possivelmente está saturada em água, e facilmente se pode estabelecer a ligação com uma zona idêntica no modelo da pseudo-secção P3 à distância da linha de prospeção de 215 m.

De um modo geral, é possível concluir que o modelo da pseudo-secção é muito próximo da realidade, uma vez que é compatível com estruturas geológicas verticalizadas conforme foi possível observar no levantamento geológico, concluindo-se assim que a pseudo-secção é uma técnica adequada para detetar estruturas verticais fraturadas.

Na figura 5.18 estão representados, os quatro perfis realizados, num modelo geológico/hidrogeológico.

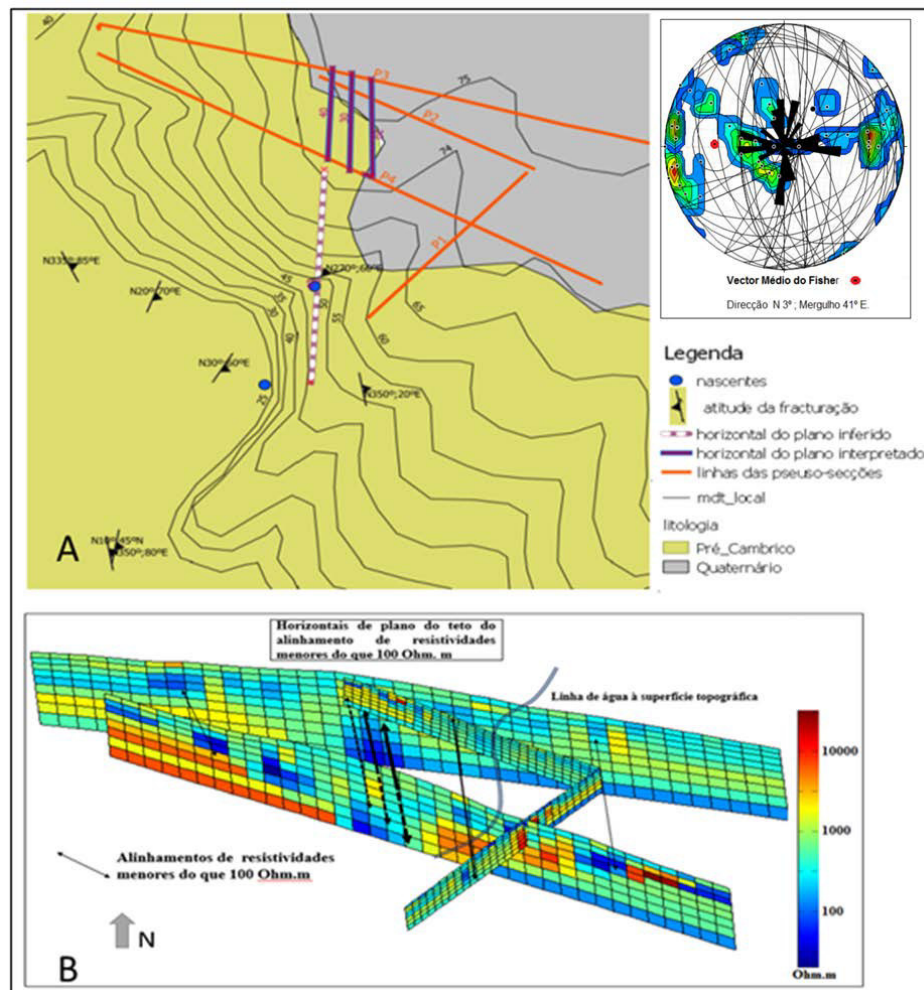


Figura 5.18 - Ligação entre o modelo geofísico e as nascentes (Bonga, 2014).

Para obtenção do modelo aplicou-se um outro procedimento computacional correndo a uma aplicação Matlab com o objetivo de visualizar em 3D de modo integrado as quatro pseudo-seções estudadas (Figura 5.18 B).

A partir da Figura 5.18 pode interpretar-se que as águas são captadas pela formação Quaternária e circulam pelo maciço através do seu sistema de fraturas, sob a ação dos gradientes hidráulicos em condições que, incluindo o próprio regime de escoamento, se revelam fortemente dependentes das características geométricas das zonas alteradas do filádio.

Na Figura 5.18-B, é possível identificar alinhamentos de resistividade da ordem dos 100 $\Omega\text{hm.m}$ ilustrados por linhas retas a negro que se associam a estruturas em que a rocha estará impregnada de água.

Anteriormente, destacou-se nos modelos das pseudo-seções 3 e 4 uma estrutura de resistividade ligeiramente inferior a 100 ohm.m, alinhada sensivelmente segundo a direcção N-S, onde o teto pende para Este. O teto desta estrutura foi interpretado nos modelos das duas pseudo-seções como um plano e representado através dos traços horizontais às cotas 20, 30 e 40 m sendo de realçar a coincidência

entre as orientações dos traços desse plano e a da família de fraturas N-S referente à fraturação dominante. Refere-se ainda que prolongando o traço horizontal do plano aos 40 m (linha a tracejado) intersecta-se a nascente a meia encosta com erro altimétrico inferior a 10m o que foi considerado satisfatório.

Encontrou-se também uma coincidência extraordinária entre o mergulho aproximado de 45°E para o teto da estrutura geofísica de baixa resistividade e a média de Fisher de 42°E para a fraturação dominante (Figura 5.18-A).

Concluiu-se deste modo que, esta zona de baixa resistividade corresponderá a uma zona de intensa fraturação que se julga corresponder ao sistema aquífero de desenvolvimento vertical drenado pelas nascentes localizadas a Oeste do traço horizontal extrapolado à cota 40 m. Este modelo hidrogeológico é compatível com o modelo 3. Além desta estrutura profunda que só foi detetada com as duas ultimas pseudo-seções, em que os espaçamentos entre elétrodos foram de 10m, também se podem interpretar alinhamentos de igual direção à principal (Fig. 5.18-B) nos dois primeiros modelos obtidos das pseudo-seções realizadas com espaçamento entre elétrodos de 5m. Estes alinhamentos tanto podem estar associados a estruturas fraturadas como ao relevo de dureza provocado pela erosão que antecedeu a deposição da cobertura quaternária.

5.2.3. Comparação dos resultados do Fontão com outros de duas localidades

As resistividades obtidas no Fontão, como já referido anteriormente, são valores de resistividade heterogéneos. No entanto, apesar de se encontrarem valores inferiores a 100 $\Omega.m$, a maioria são valores de resistividade mais altos, em alguns casos superiores a 10000 $\Omega.m$, considerando-se este local como um local de resistividades elevadas.

Neste subcapítulo, comparam-se esta zona de resistividades altas (zona A) com outras duas zonas, uma de resistividades baixas (zona B) e outra de resistividades muito altas (zona C).

5.2.3.1. Zona B – Vacariça

Um outro local, na qual se realizou uma pseudo-seção, foi na Vacariça, Concelho de Vagos, Distrito de Aveiro (Figura 5.19). A zona B foi caracterizada como uma zona de resistividades baixas, como pode ser comprovado pela Figura 5.20.



Figura 5.19 - Localização da área de estudo (Vacariça).

A pseudo-secção foi realizada numa zona em que a nível geológico, á superfície, só era possível observar areias de duna. Uma característica que foi possível observar á chegada do local, e de elevada relevância, foi a possível existência de contaminação, pelo facto de o terreno se encontrar nas imediações de uma vacaria e sendo mesmo observada a possível contaminação (figura 3.25).



Figura 5.20 - Possível fonte de contaminação do terreno.

A linha de prospeção teve um comprimento de 460m, onde foram colocados 47 eléctrodos, ou seja, com espaçamento entre eles de 10 metros. Neste caso em concreto, a fonte de alimentação não foi a bateria (220 V), mas foi o sistema de alta potência (Caixa cinzenta).

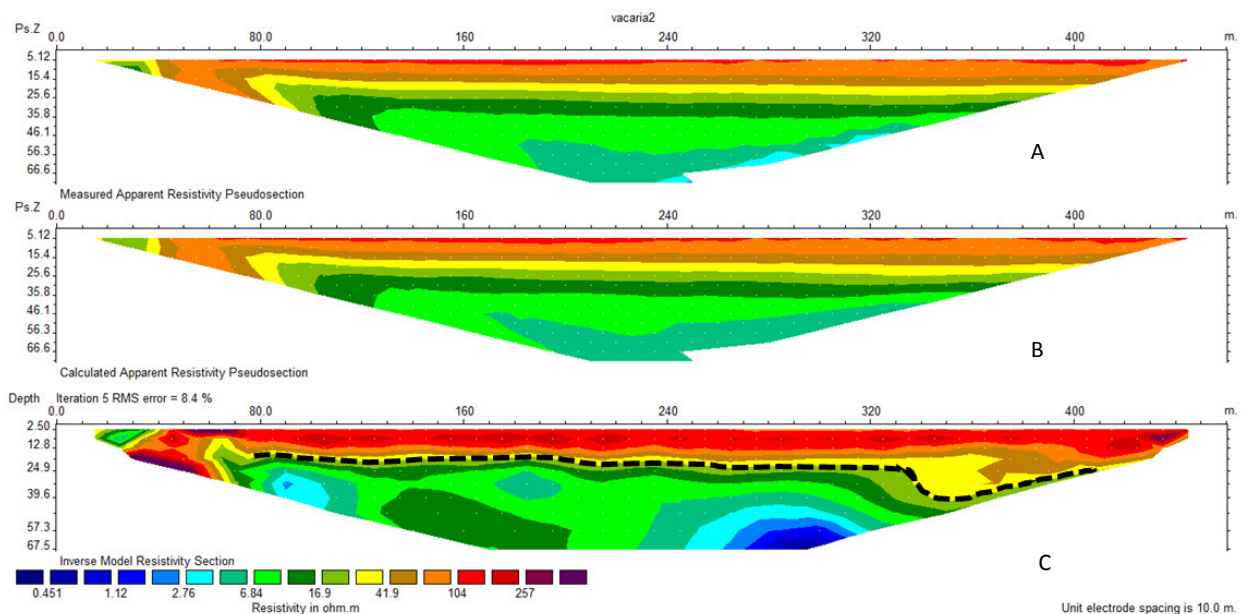


Figura 5.21 - Pseudo-secção Vacariça – Perfis de resistividade aparente medida, aparente calculada e modelo de resistividade.

Da análise da figura 3.26, a qual representa os valores de resistividade aparente medidos no campo, os valores de resistividade aparente calculados pela modelação directa a partir do modelo e o modelo de distribuição de resistividades obtido por inversão, é possível verificar que os valores de resistividades na generalidade são muito baixos, inferiores a $16 \Omega.m$, correspondendo a zonas muito condutivas, sendo estes valores possíveis zonas contaminadas com água salgada, ou mesmo contaminação orgânica por

parte da vacaria. Tal como registado pelas imagens anteriores (Figura 3.25), pode existir uma possível contaminação por parte da vacaria. É possível verificar uma pluma de contaminação centrada nos 90m, com janela nos 60m, representada na Figura 3.26 pela letra A. Um dos indícios que apoia a teoria de estarmos perante uma pluma de contaminação é pelo facto desses valores de resistividade muito baixos, serem coincidentes com o local onde estava a possível fonte de contaminação registada pelas fotografias. Na zona assinalada pela letra B, dos 270m até aos 320m, registam-se em profundidade (na ordem dos 50m) valores de resistividade na ordem de $1 \Omega.m$, característicos de sedimentos preenchidos por água salgada. Considera-se nesta zona (entre os 240 e os 260m) uma possível zona de transição da cunha salina. Representada pela zona C a uma cota de 12m, pode considerar-se a presença de um aquífero livre da duna, ou seja, água de recarga pelas dunas (com valores de resistividade entre 50 e $100 \Omega.m$). Representada pela linha a tracejado pode estar representada uma Paleosuperfície (praias) situada aos 30m, a pender para Oeste. Neste teste, a profundidade atingida foi de cerca de 65m, utilizando como fonte de alimentação a “caixa cinzenta”.

5.2.3.2. Zona C – Local incógnito

A zona C foi realizada numa zona que a nível geológico pertence ao Cristalino. Quanto à localização geográfica não é possível revelar devido ao sigilo profissional, pelo facto de estes valores terem sido cedidos pela empresa à qual foi alugado o equipamento.

O método utilizado, tal como o utilizado anteriormente, foi o método de Wenner. No qual a linha de prospeção teve um comprimento longitudinal de 290m, com espaçamento entre elétrodos de 10 metros. Neste trabalho, tal como na Zona A, os valores obtidos foram com auxílio a uma bateria e um alternador de corrente. Sendo mesmo utilizada a “caixa cinzenta” mas sem sucesso.

Pela pseudo-secção representada na figura 3.27, pode-se verificar que os valores obtidos são valores de resistividades muito altos, atingindo mesmo os cerca de $18000 \Omega.m$. A profundidade atingida foi cerca de 48 metros.

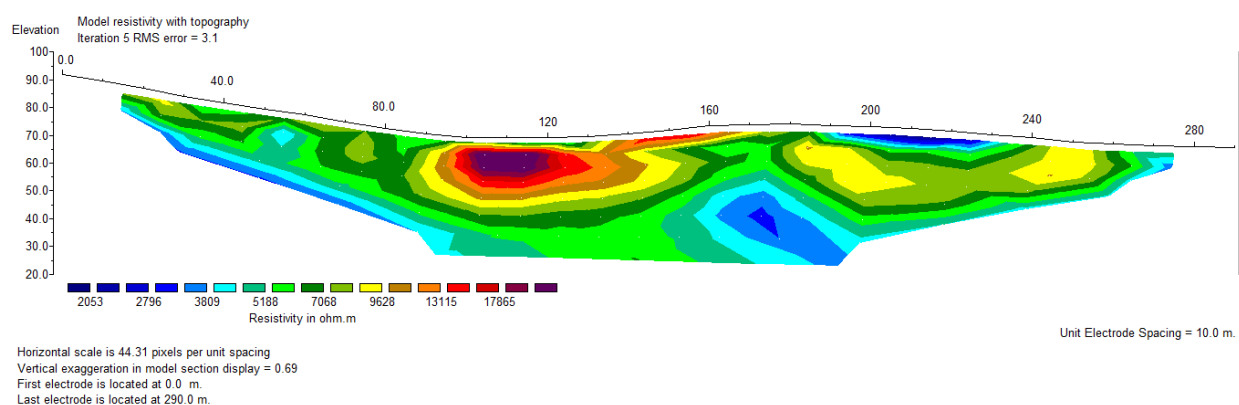


Figura 5.22 - Pseudo-secção de local incógnito.

Comparando as três zonas (zona A, Zona B e zona C), e tendo anteriormente chegado á conclusão que quanto maior a linha de prospeção maior a profundidade atingida, foi possível concluir ainda que, quanto mais resistivo é o meio em estudo maior é a profundidade atingida.

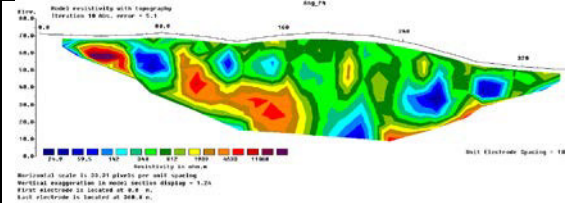
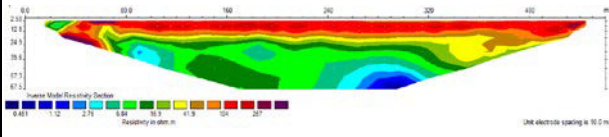
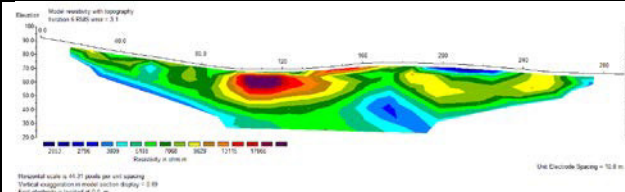
Esta conclusão pode justificar-se pelo facto de na zona C, com apenas 290 metros de linha e com espaçamento de 10 m, conseguiu-se atingir uma profundidade de 48m; na Zona A, com espaçamento de 10 m entre eléctrodos e com linha de290 m, atingiu-se cerca de 68 metros em profundidade e na zona B, a linha com 460 m e com o mesmo espaçamento entre eléctrodos, atingiram-se cerca de 65 m, no entanto, o comprimento da linha B é muito superior aos das linha A e C, o que significa que possivelmente nas Zonas A e C se fossem realizados testes com comprimento da linha de prospeção de igual valor ao utilizado na zona B, os valores de profundidades obtidos seriam muito superiores.

Uma conclusão, não do ponto de vista científico mas sim do ponto de vista técnico, é o facto de na zona B, comparativamente coma Zona A, o processo de aquisição de dados ser mais facilitado e em contra partida também a nível económico fica mais barato. Isto porque, devido às condições encontradas (areia de duna, sem grande vegetação, terreno plano e de fácil acesso) o esforço físico não ser tão elevado e apesar de o número mínimo recomendado de elementos da equipa ser o mesmo, o trabalho é realizado em menor número de horas.

Uma outra conclusão a ter em consideração é, quanto á utilização da bateria com o alternador de corrente ou a designada “caixa cinzenta” em que situações se utiliza uma ou outra. Relativamente aos testes realizados, no local B (baixas resistividades) obtiveram-se bons resultados utilizando apenas a “caixa cinzenta”. Nos locais A e C (altas resistividades), não foi possível obter resultados de valores de resistividades aparente utilizando a “caixa cinzenta”, apenas se conseguiram obter resultados credíveis nestas zonas utilizando a bateria e o alternador de corrente.

Na tabela 3.5, está sintetizado dependendo da zona em estudo e dos valores de resistividades encontrados, qual a fonte de alimentação utilizada.

Tabela 5.1 - Correspondência entre as resistividades das diferentes zonas e a respetiva fonte de alimentação.

Zonas	Resistividades	Perfil de Resistividades	Fonte Alimentação
A	Alta (20-20000 ohm.m)		Alternador de corrente
B	Baixa (1-500 ohm.m)		Caixa cinzenta
C	Muito Alta (2000-20000 ohm.m)		Alternador de corrente

Capítulo 6 – Conclusões

Este trabalho é o resultado de um estágio na empresa Captágua, cuja principal principal atividade é a realização de furos de captação de água. Tendo em consideração um dos principais objetivos deste estágio foi possível à estagiária o acompanhamento de obra, ou seja mais precisamente, o acompanhamento da realização de furos de captação de água e todos os processos neles envolvidos. Paralelamente foi possível o acompanhamento do funcionamento do quotidiano numa empresa e uma sensibilização para o mundo do trabalho.

Relativamente ao acompanhamento de obra, este permitiu-me adquirir um grande número de conhecimentos relacionados com os furos de captação de água, ganhando assim uma preparação e sensibilidade para futuramente aplicar esses conhecimentos de forma mais correta e científica. Todos os conhecimentos adquiridos tiveram por base o conhecimento teórico adquirido ao longo do meu curso, nas disciplinas de Hidrologia, Hidrogeologia, Prospeção Geológica e Geotécnica e Geofísica Aplicada a Engenharia, conhecimentos esses que foram aplicados no decorrer do estágio.

Com o acompanhamento de obra (descrito detalhadamente no Capítulo 3) e tendo em conta os aspetos legais e formais, foi possível ganhar uma maior sensibilidade para todos os aspetos que é necessário tem em consideração durante a execução de um furo de captação, tais como; (a) a captação deverá ser feita num local sem perturbar as captações já existentes nem o meio envolvente; (b) deve-se ter em conta os diâmetros necessários para perfuração e o diâmetro do revestimento, bem como o método de perfuração a utilizar; (c) sempre que possível utilizar dados das diagrfias para um melhor dimensionamento da posição dos tubos ralos; (d) para o isolamento das águas superficiais é importante o preenchimento do espaço anelar (ter em atenção o tipo de material e diâmetro); (e) a realização de um furo nunca pode originar contaminação de outros furos; (f) no final da obra, é essencial um bom desenvolvimento/limpeza do mesmo, pelo que se recomenda a realização de um ensaio de caudal, para um bom dimensionamento da bomba; e (g) concluídos os trabalhos devem ser repostas as condições iniciais do terreno.

Relativamente ao segundo objectivo, **Implementação e desenvolvimento do método de resistividade**, começou-se por estudar o método da resistividade elétrica do ponto de vista teórico (Capítulo 4), enquadrando-o dentro dos métodos geofísicos, estudando os seus fundamentos teóricos, as técnicas e equipamentos desenvolvidos para aplicação prática e percebendo a sua aplicabilidade, capacidades e limitações.

O funcionamento do equipamento de Resistividade Elétrica passou por identificar as diferentes componentes do equipamento e suas funcionalidades. Durante a fase de operacionalidade do equipamento pretendeu-se também averiguar a profundidade que era possível atingir sendo este aspeto uma mais-valia da parte da empresa.

Foram realizados trabalhos, em diferentes locais e com diferentes geologias, onde foi possível verificar que os resultados dependem fundamentalmente das características do local. Foram utilizados diferentes

espaçamentos entre elétrodos, verificando-se que quanto maior é o espaçamento entre os elétrodos, e conjugado com uma maior linha de prospeção, maior vai ser a profundidade de investigação, mas em contra partida a capacidade de resolução diminui, ilustrada nas pseudo-seções P3 e P4, comparativamente com as P1 e P2).

Após a fase inicial, realizou-se a aplicação prática do método de resistividade num caso de estudo concreto, o Fontão. Quanto aos resultados obtidos foram possíveis tirar as seguintes conclusões:

- a) Todas as pseudo-seções realizadas mostram que existe uma tendência na localização e direção de possíveis zonas saturadas em água, sendo essa direção correspondente com as direções de fracturação detetadas no estudo de geologia estrutural realizado, sendo possível considerar a técnica das Pseudo-seções adequada para detetar estruturas verticais fraturadas.
- b) Quanto aos resultados obtidos evidenciando zonas de fratura e saturadas em água, é possível concluir que esta zona seria um bom local para realização de sondagens mecânicas de pesquisa de água subterrânea (recorrendo ao método da rotopercussão), apesar da limitação da profundidade de investigação (cerca de 65m). Conclui-se que esta zona é muito promissora quanto ao seu potencial hidrogeológico.

Relativamente aos trabalhos realizados em locais com diferentes geologias, podem ser tiradas as diferentes conclusões:

- a) As profundidades de investigação, para além da distância longitudinal da linha de prospeção, são influenciadas pelo tipo de litologia, ou seja pelas resistividades. Verificando-se que em zonas de baixas resistividades (zona B) não é possível obter uma profundidade de investigação tão profunda como em zonas de resistividades altas (zonas A e C).
- b) Em zonas de resistividades mais elevadas o resistímetro funciona apenas tendo como fonte de alimentação uma bateria e o alternador de corrente, já em zonas de resistividades mais baixas essa técnica não funciona sendo necessário utilizar a caixa de alta potência “caixa cinzenta” que permite injetar uma corrente elevada no terreno, aumentando desse modo os sinais de potencial eléctrico.
- c) Uma conclusão do ponto de vista económico é o facto de em zonas de relevos mais aplanados, com pouca vegetação e de fácil acesso, os trabalhos são muito mais facilitados, a nível físico, e mais fáceis de realizar demorando muito menos horas, tornando-se assim mais rentáveis a nível económico. Foi o verificado na zona B comparativamente com a zona A em que os trabalhos a nível físico foram muitos desgastantes e englobaram um grande número de horas.

Os objetivos iniciais foram atingidos com sucesso já que foi possível obter um bom conhecimento a nível da construção de furos de captação de água (a experiência adquirida em campo foi de extrema importância) assim como foi possível implementar uma nova metodologia na empresa. Refira-se que o equipamento de resistividade eléctrica foi posteriormente alugado a uma empresa para realização de trabalhos semelhantes.

Bibliografia

- ABEM (2007). Intruction Manual: Terrameter SAS 1000/4000. Sweden, 135 pp.
- ABEM (2007). Intruction Manual: Terrameter SAS 1000/4000. Sweden, 135 p. Lobarinhas, D.; Gomes, R.; Lima, A.; Silva, J. (2011). Determinação da interface água doce/água salgada no litoral de Viana do Castelo (NW de Portugal) com recurso ao método da resistividade eléctrica. In: Resumos do VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Ilha da Boavista, Cabo Verde, 6-8 de abril. Publicação em formato digital.
- Aktarakçi, H. (2008). Resistivity Imaging. Seminar on resistivity imaging. Madrid.
- Azevedo, M.T.G.F.M. (1982). Sinclinal de Albufeira – evolução pós-miocénica e reconstituição paleogeográfica. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Lisboa. 302 p.
- Bonga, 2014. Prospeção Geoeletrica de água subterrânea no Fontão, Angeja-Portugal. Dissertação de Mestrado apresentada á Universidade de Aveiro.
- Braga, A.C.O. (2007). Métodos Geoeletricos Aplicados nos estudos de Captações e Contaminação das Águas Subterrâneas. Rio Claro, 3-63.
- Custódio, E. & Llamas, M.R. (1996). Hidrologia subterrânea, 2ª edição, Tomo I e II, ediciones Omega, Barcelona, 2350 pp.
- Custodio, E. e Llamas, M. R. (1976). Hidrología subterrânea. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 2 Tomos, 2359 pp.
- Custodio, E.; Llamas, M. R. (1983). Hidrologia Subterrânea, Ediciones Omega, S. A. Barcelona.
- Daveau, S. (1995). Portugal Geográfico, Ed. J. Sá da Costa, Lisboa.
- Ferreira et al. (2012). Manual de boas práticas para a execução e exploração de furos de captação de águas subterrâneas. Instituto Português da Qualidade, 77 pp.
- Brum Ferreira, A. (1978). Planaltos e Montanhas do Norte da Beira - Estudo de Geomorfologia. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº 4, 379 pp
- Fetter, C.W. (2001). Applied Hydrogeology. 4th Edition. Prentice Hall, New Jersey, 545-598.
- Figueiredo, F.P.O. (1990). Método da Resistividade Eléctrica Aplicado ao Estudo de aquíferos Costeiros – caracterização do aquífero superficial da Península Barra-Costa Nova do Prado – Vagueira (Aveiro). Coimbra, 1-102.
- Graça, H.; Mota, R. (2002). Tomografias Geoeletricas de Superfície. Prospeção, Pesquisa e Captação de Águas Minerais Naturais, Recursos Geotérmicos e Águas de Nascente. IGM. Versão Online no site do INETI:
- KEAREY, P.; BROOKS, M. (1984). An Introducton to Geophysical Exploration. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 198-225.
- Lima, A., Barbosa, S. 2011. Prospeção de Recursos Hidrominerais em Terrenos Cristalinos-caso de estudo em caminha, noroeste de Portugal. Universidade do Minho.
- Lima, H.M. (2007). Apontamentos sobre hidráulica subsuperficial. Disponível em <http://cee.uma.pt/hlima/Doc%20Hidraulica/0666HidraulicaSubsuperficial>. Acesso em 12 de Abril de 2014.
- Lobarinhas, D.; Gomes, R.; Lima, A.; Silva, J. (2011) - Determinação da interface água doce/água salgada no litoral de Viana do Castelo (NW de Portugal) com recurso ao método da resistividade eléctrica. In: Resumos do VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Ilha da Boavista, Cabo Verde, 6-8 de Abril. Publicação em formato digital.
- Loke, M.H. (1999). Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies. Penang, Malaysia. 57 pp.
- Martínez, J.; Ruano, P. (1998). Aguas Subterráneas. Captación y Aprovechamiento. 1ª ed., PROGENSA, 408 p.
- Martinho, E. (2002). Estudo Integrado de Problemas Ambientais por Métodos Geofísicos. Dissertação de Doutoramento. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 269 p.
- Nath, S. K.; Patra, H. P.; Shahid, S. (2000). Geophysical Prospecting for Groundwater. A.A. Balkema, Rotterdam, 256 p.
- Neves, M.A. (2004). Análise integrada aplicada a exploração de água subterrânea na Bacia do Rio Jundáí (SP). Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exactas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Orellana, E. (1972). Prospeccion geoelectrica en corriente continua. Madrid, Ed. Paraninfo, Biblioteca Tecnica Philips, 523p.
- Parasnis, D. S. (1973). Mining geophysics. 2ª Edição revista. Elsevier, Amesterdão, 395 p.

Rocha, R.; Ramalho, E.; Paralta, E.; Afonso, A. (2003). Métodos geofísicos aplicados à prospecção de águas subterrâneas em rochas cristalinas do Alentejo – vantagens e limitações. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, nº especial, CD-ROM, D73-D76.

Sharma, P.V. (1997). Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge. 475 pp.

Singhal, B.B.S. e Gupta, R.P. (1999).- Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. Kluwer Academic Publishers, 400 pp.

Telford, W.M.; Geldart, L.P.; Sheriff, R.E. (1990). Applied Geophysics. Second Edition. Cambridge University. pp. 283-292 e pp. 522-577.

Todd, D.K. (1959). Ground Water Hydrology, ed. Wiley & Sons, New York, 1959, 336 pp.

Ward, S.H. (1990). Resistivity and induced polarization methods. USA. Investigations in Geophysics, nº5. Geotechnical and Environmental Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, Ed. Stanley H. Ward, v. I, 147-189.

Websites consultados:

www.wtsgео.com

<http://www.apambiente.pt/>

<http://www.captagua.pt/>

<http://www.lnag.pt/>

ANEXOS

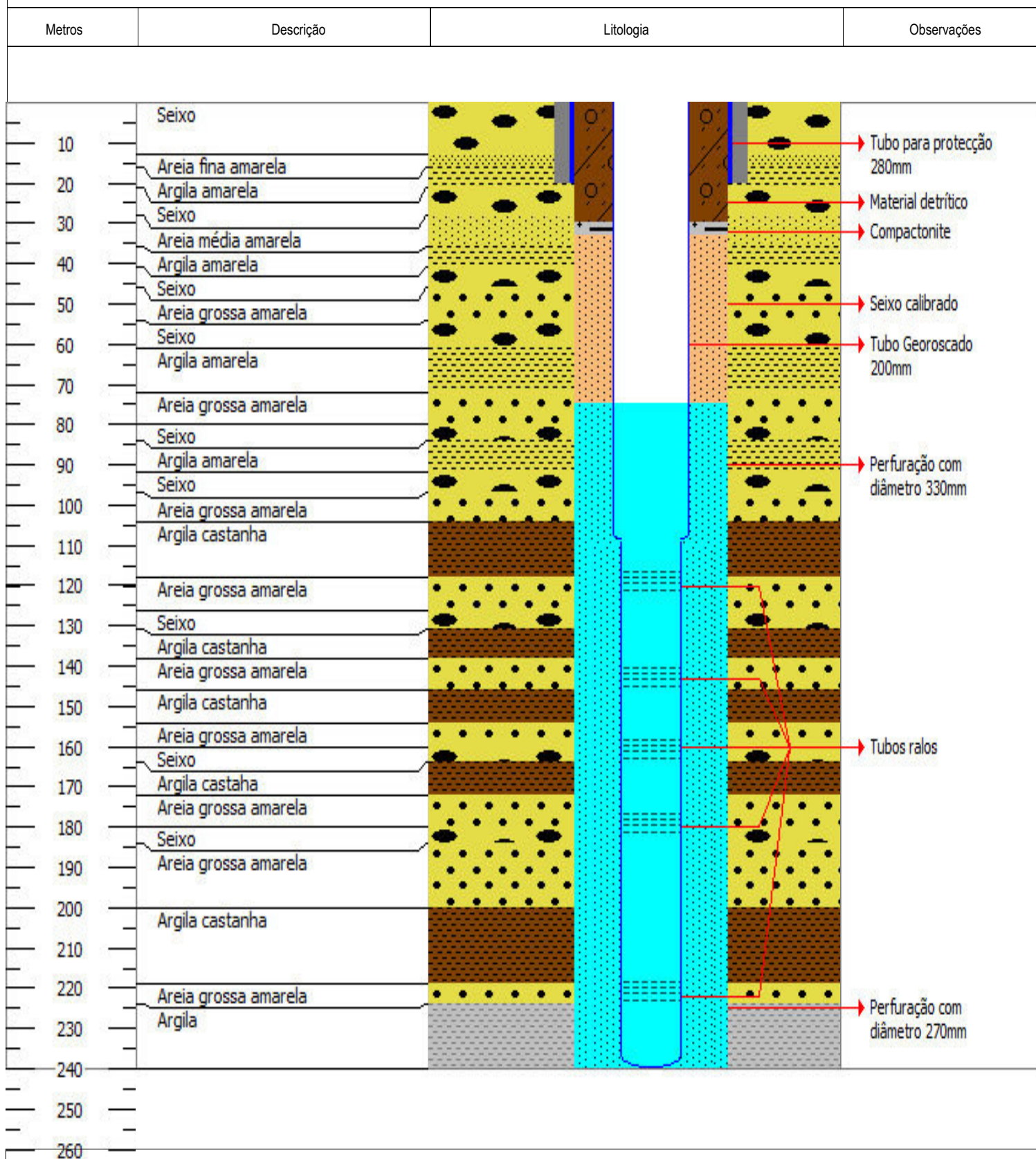
ANEXO 1- Logs dos respetivos furos estudados

ANEXO 2- Diagrafias realizadas no furo das Águas do Ribatejo (descida e subida escala 200:1 e subida escala 500:1)

ANEXO 3- Ensaio de Caudal realizados no furo das Águas do Ribatejo

Anexo 1

CORTE GEOLÓGICO DO FURO



PERFURAÇÃO: Dos 0 aos 110 m, igual a 330 mm e dos 110 aos 240 mts, igual a 270 mm;

PROFUNDIDADE: 240 mts;

REVESTIMENTO: Dos 0 aos 110 mts, igual a 200 mm; dos 110 aos 240 mts, igual a 140 mm;

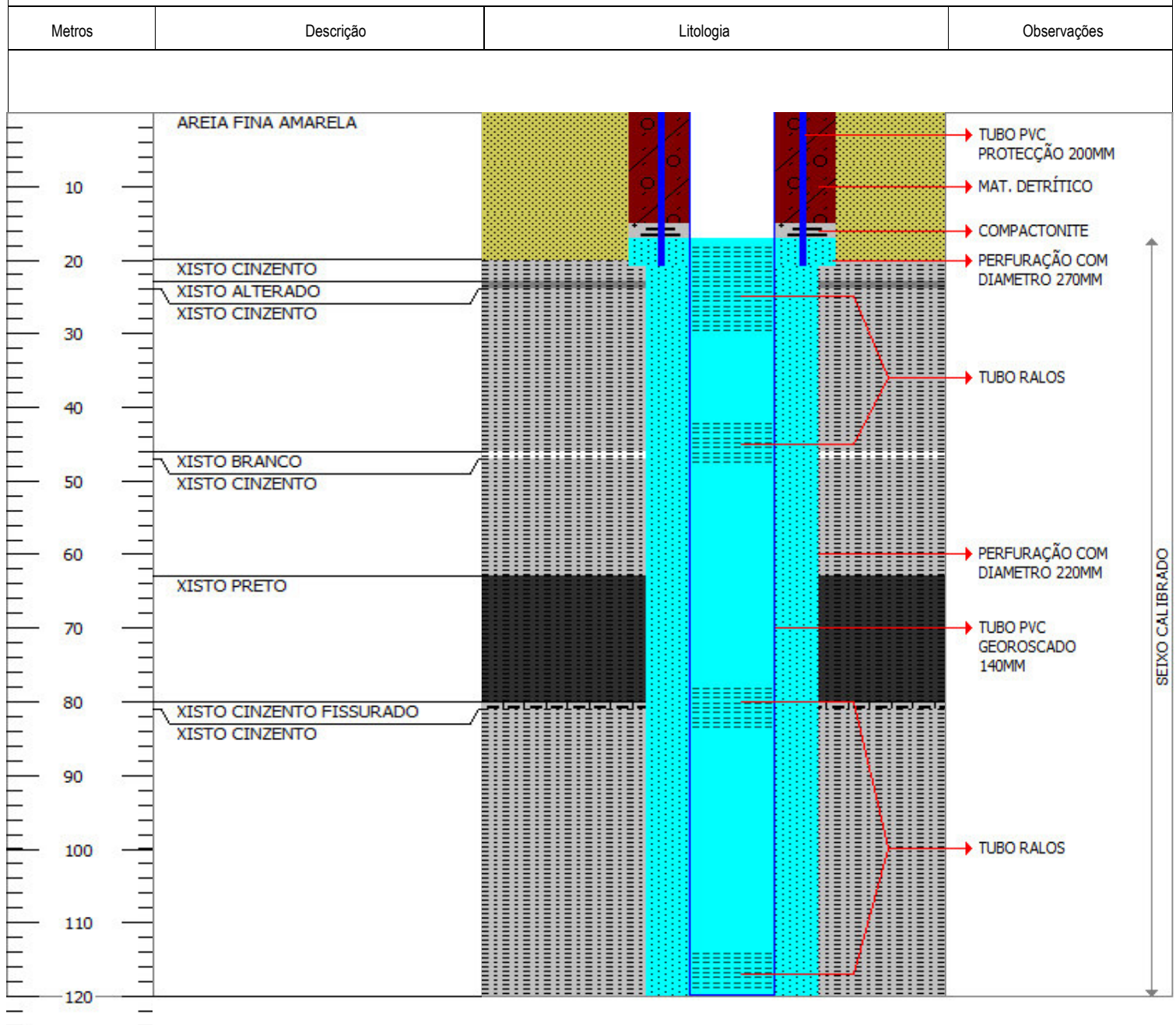
TUBOS RALOS: Dos 116 aos 122 m, dos 140 aos 146 m, dos 158 aos 164 m, dos 176 aos 182 m e dos 218 aos 224 m;

ESPAÇO ANELAR: Material Detritico: dos 0 aos 30 m;

Compactionite. dos 30 aos 33 m;

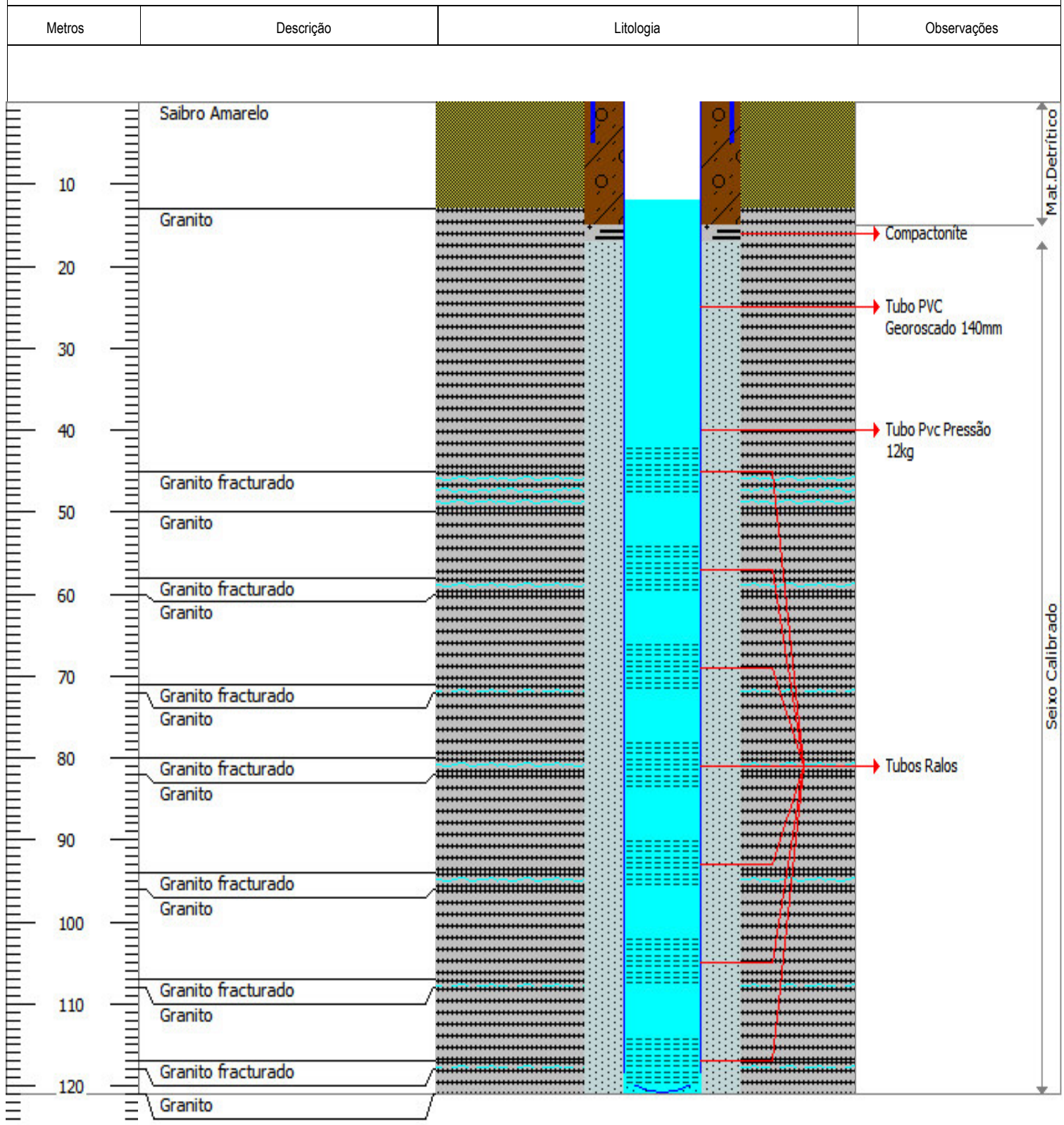
Seixo Calibrado: dos 33 aos 240 mts.

CORTE GEOLÓGICO DO FURO



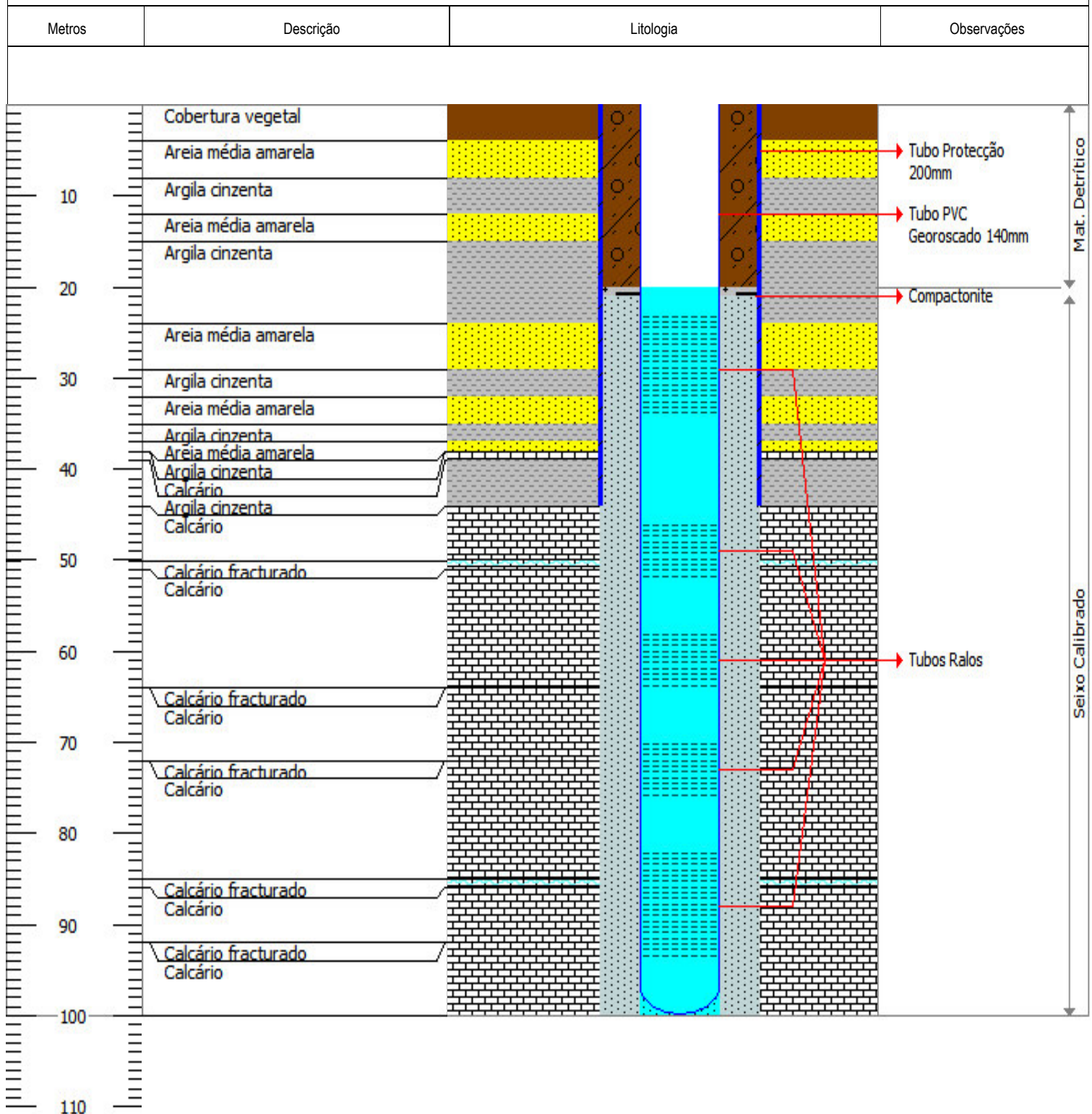
PROFUNDIDADE: 120 mts;
 PERFURAÇÃO: Dos 0 aos 21 mts, igual a 270 mm e dos 21 aos 120 mts, igual a 220 mm;
 REVESTIMENTO: Dos 0 aos 21 mts, igual a 200 mm; dos 0 aos 150 mts, igual a 140 mm;
 TUBOS RALOS: Dos 18 aos 30, dos 42 aos 48, dos 78 aos 84 e dos 114 aos 120 mts;
 ESPAÇO ANELAR: Material Detritico: dos 0 aos 15 mts;
 Compactonite. dos 15 aos 17 mts;
 Seixo Calibrado: dos 17 aos 120 mts.

CORTE GEOLÓGICO DO FURO



PROFUNDIDADE: 121 m
 PERFURAÇÃO: dos 0 aos 121m, igual a 220mm
 REVESTIMENTO: dos 0 aos 121m, igual a 140mm
 TUBOS RALOS: dos 42 aos 48m, dos 54 aos 60m, dos 66 aos 72m, dos 78 aos 84m,
 dos 90 aos 96m, dos 102 aos 108m e dos 114 aos 120m
 ESPACO ANELAR: Material detritico: dos 0 aos 15m,
 Compactionite: dos 15 aos 17,
 Seixo Calibrado: dos 17 aos 121m.

CORTE GEOLÓGICO DO FURO



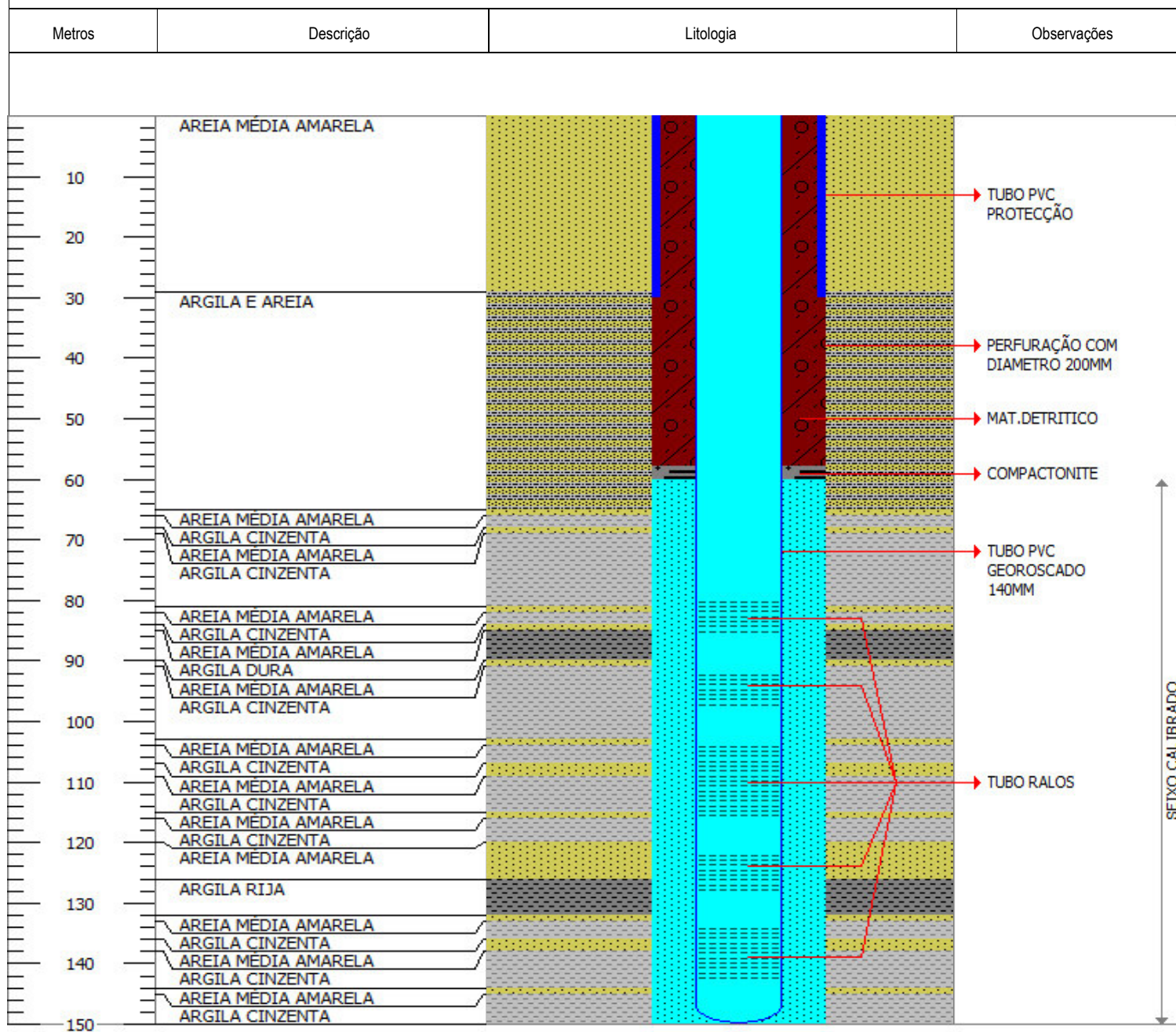
PROFUNDIDADE: 100m

PERFURAÇÃO: Dos 0 aos 44m, igual a 200mm; dos 44 aos 100m, igual a 180

REVESTIMENTO: Dos 0 aos 100m, igual a 140mm

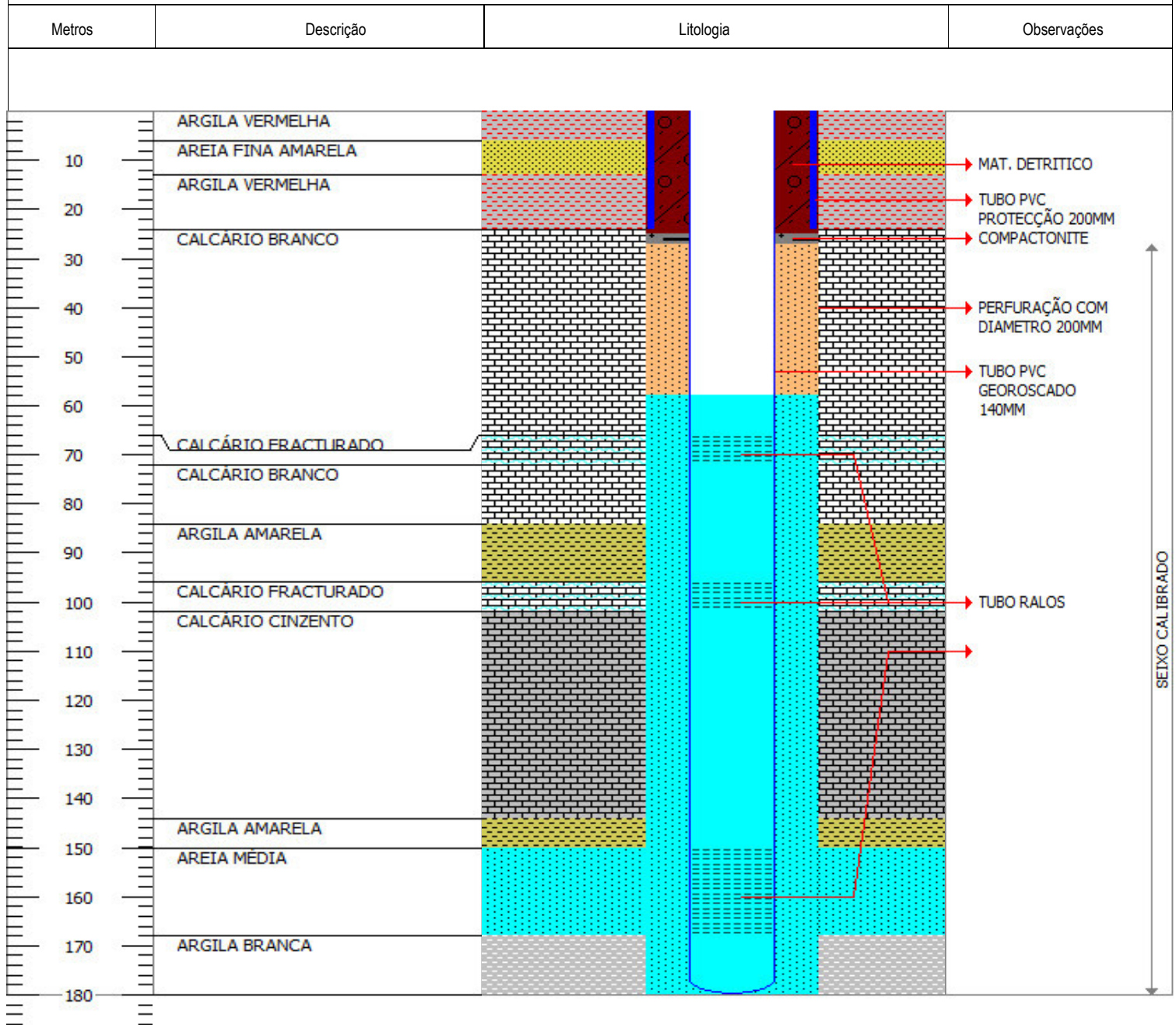
ESPAÇO ANELAR: Material Detritico: Dos 0 aos 20m,
Compactonite: dos 20 aos 21m,
Seixo Calibrado: dos 21 aos 100m.

CORTE GEOLÓGICO DO FURO



PROFUNDIDADE: 150 mts;
 PERFURAÇÃO: Dos 0 aos 150 mts, igual a 200 mm;
 REVESTIMENTO: Dos 0 aos 30 mts, igual a 250 mm; dos 0 aos 150 mts, igual a 140 mm;
 TUBOS RALOS: Dos 80 aos 86, dos 92 aos 98, dos 104 aos 116, dos 122 aos 128 e dos 134 aos 143 mts;
 ESPAÇO ANELAR: Material Detritico: dos 0 aos 58 mts;
 Compactonite. dos 58 aos 60 mts;
 Seixo Calibrado: dos 60 aos 150 mts.

CORTE GEOLÓGICO DO FURO



PROFUNDIDADE: 180 mts

PERFURAÇÃO: Dos 0 aos 180 mts, igual a 200 mm;

REVESTIMENTO: Dos 0 aos 24 mts, igual a 200 mm; dos 24 aos 180 mts, igual a 140 mm

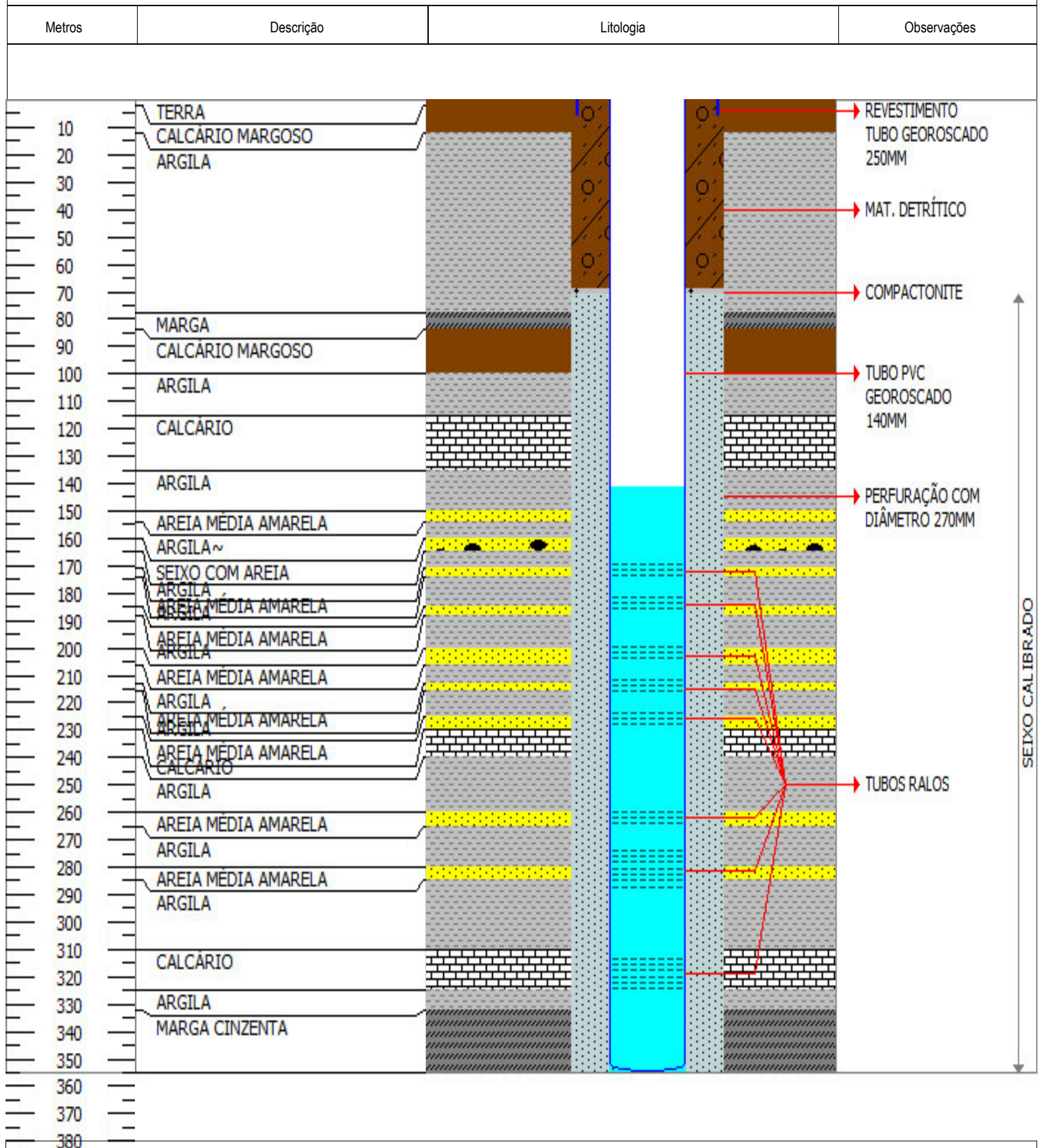
TUBOS RALOS: Dos 66 aos 72 mts; dos 96 aos 102 mts; dos 150 aos 168 mts;

ESPAÇO ANELAR: Material Detritico: dos 0 aos 25 mts;

Compactonite: dos 25 aos 27 mts;

Seixo Calibrado: dos 27 aos 180 mts.

CORTE GEOLÓGICO DO FURO



NOTAS: PROFUNDIDADE: 355 METROS

PERFURAÇÃO: DOS 0 AOS 355 METROS, IGUAL A 270 MM

REVESTIMENTO: DOS 0 AOS 355 METROS, IGUAL A 140 MM

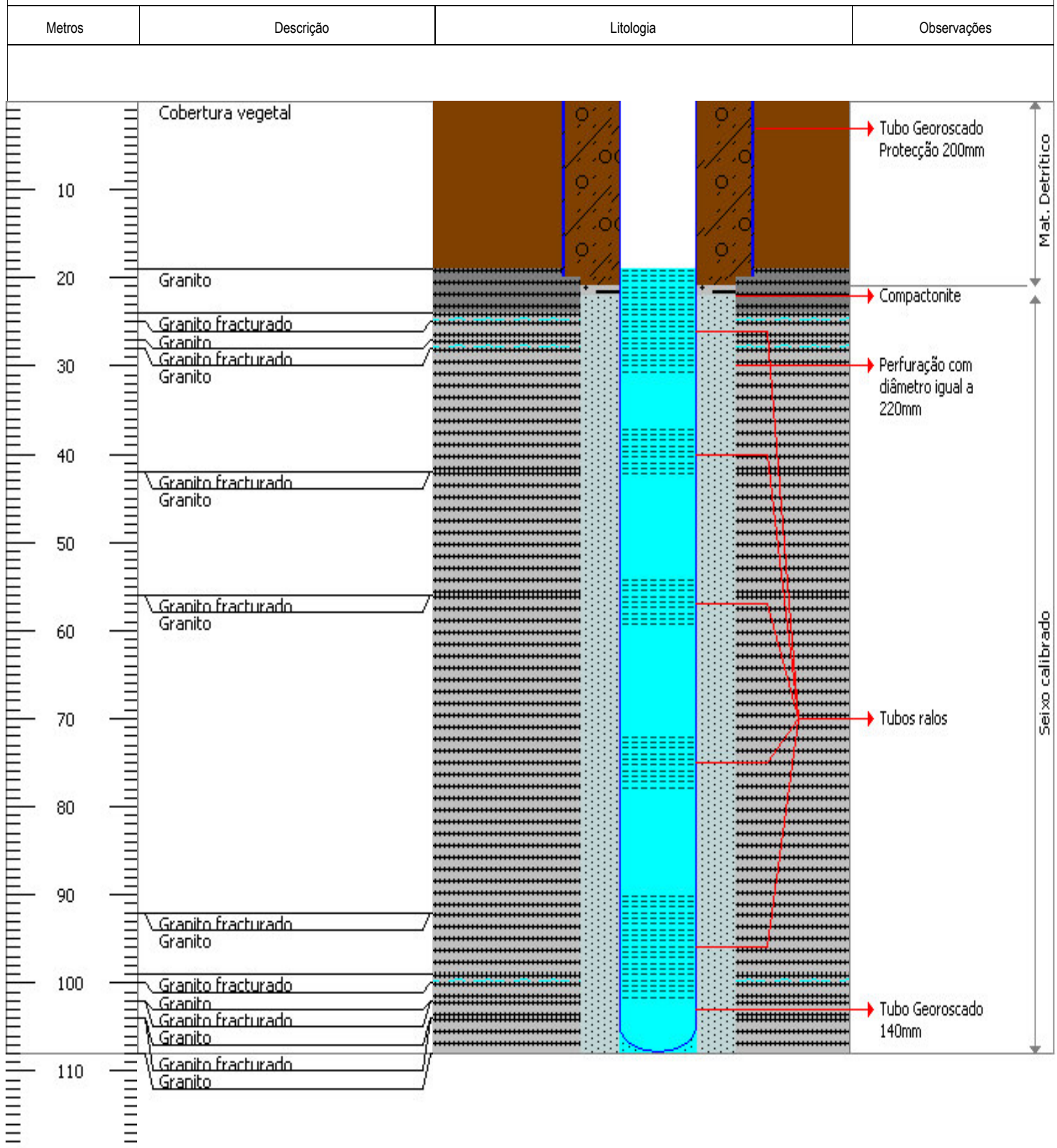
TUBOS RALOS: DOS 169 AOS 175M, DOS 181 AOS 187M, DOS 199 AOS 205M, DOS 211 AOS 217M,
DOS 223 AOS 229M, DOS 259 AOS 265M, DOS 273M AOS 289M, DOS 313 AOS 325M

ESPACO ANELAR: MATERIAL DETRÍTICO: DOS 0 AOS 69 METROS

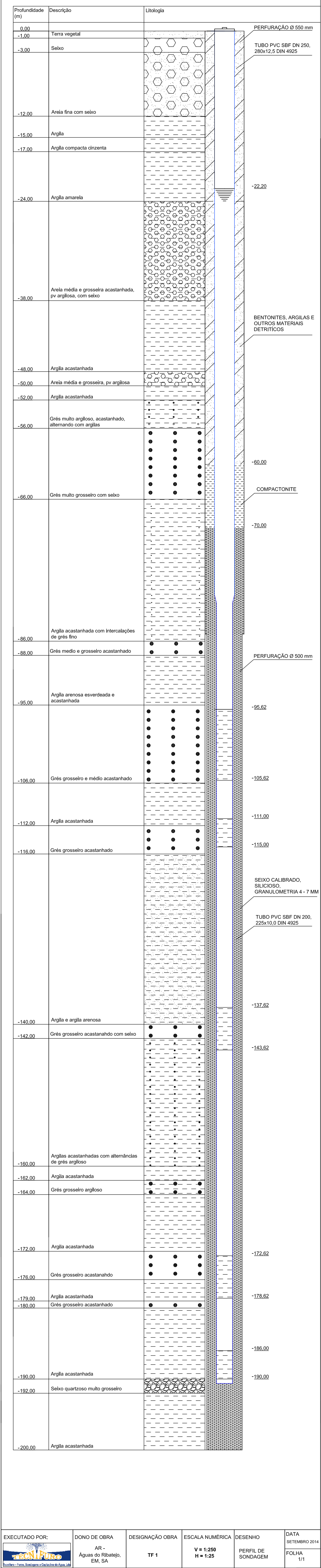
COMPACTONITE: DOS 69 AOS 71 METROS

SEIXO CALIBRADO: DOS 71 AOS 355 METROS

CORTE GEOLÓGICO DO FURO



PROFUNDIDADE: 108 mts
 PERFURAÇÃO: Dos 0 aos 108 mts, igual a 220 mm
 REVESTIMENTO: Dos 0 aos 108 mts, igual a 140 mm; dos 0 aos 20 mts, igual a 200 mm
 TUBOS RALOS: Dos 19 aos 31 mts, dos 37 aos 43 mts, dos 54 aos 60 mts, dos 72 aos 78 mts e dos 90 aos 102 mts
 ESPAÇO ANELAR: Material Detritico: dos 0 aos 21 mts,
 Compactonite. dos 21 aos 22 mts,
 Seixo Calibrado: dos 22 aos 108 mts.



Anexo 2

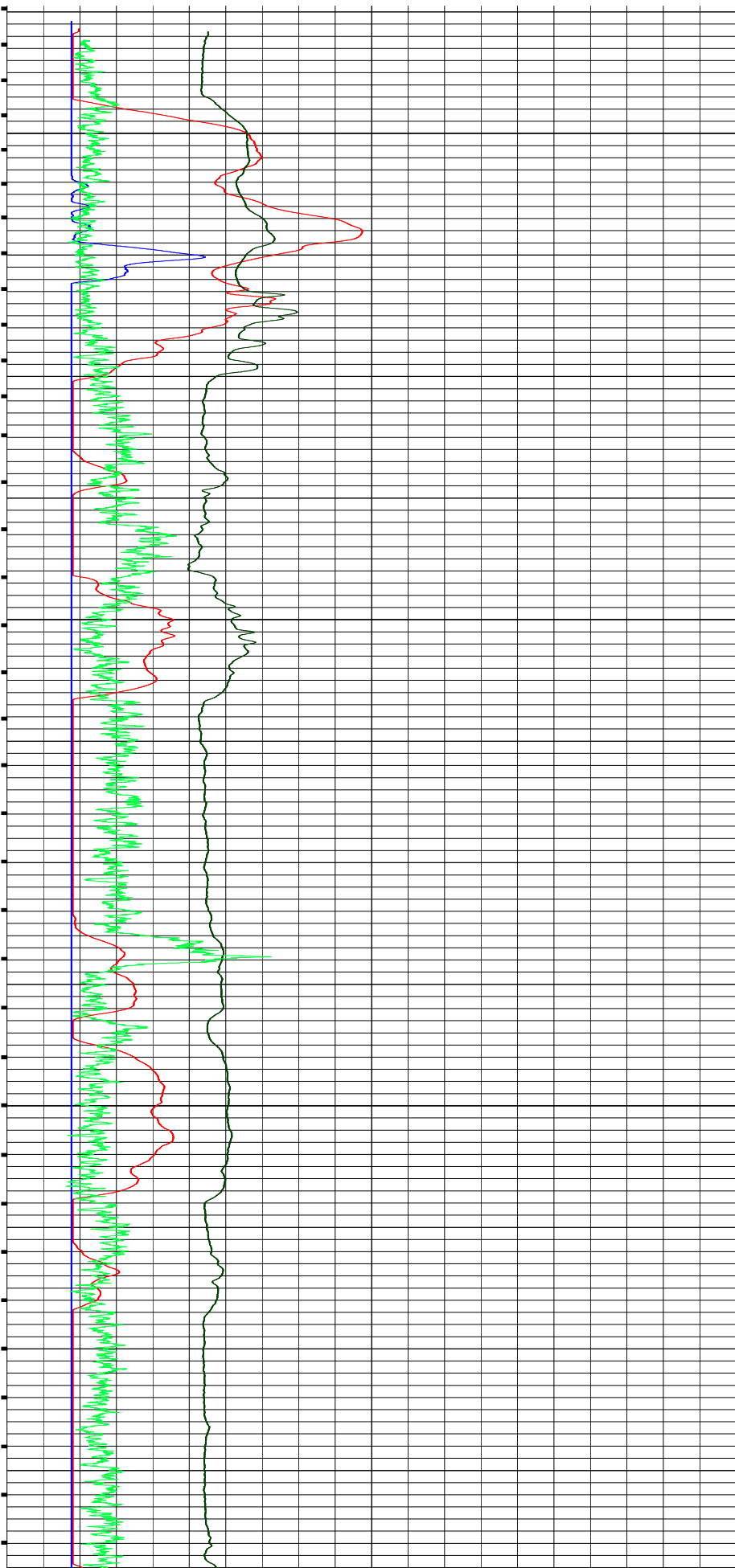
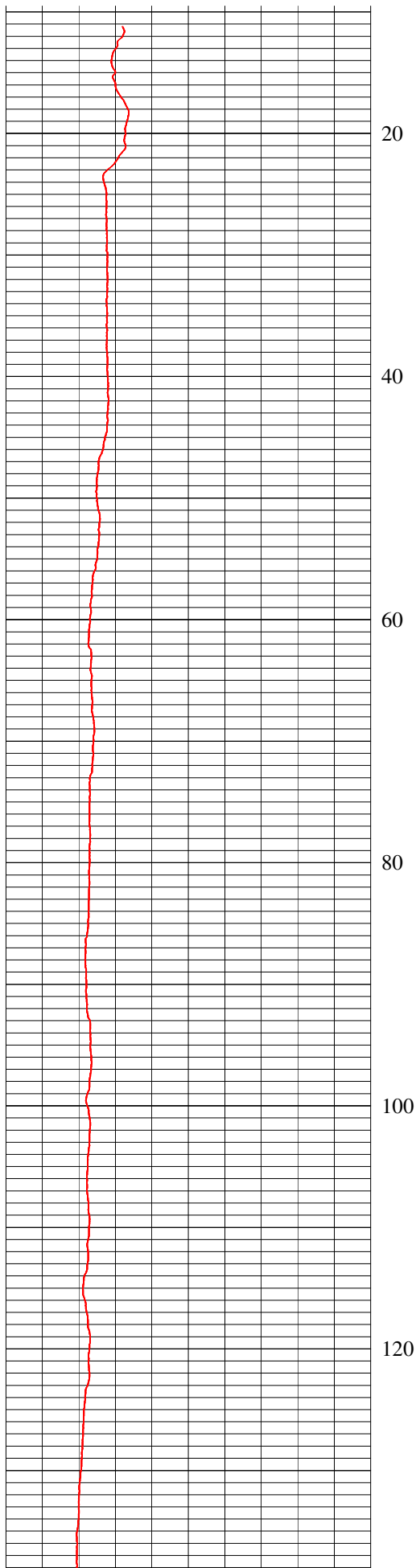
-3000 SP MV 200

-30 16N OHMM 300

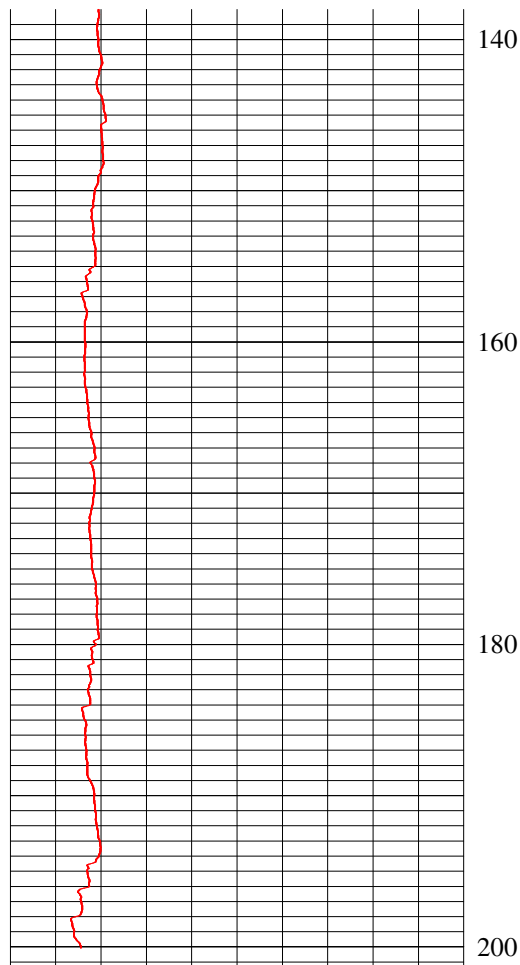
-30 64N OHMM 300

-30 SPR OHM 300

-10 NGAM CPS 300



-3000 SP MV 200

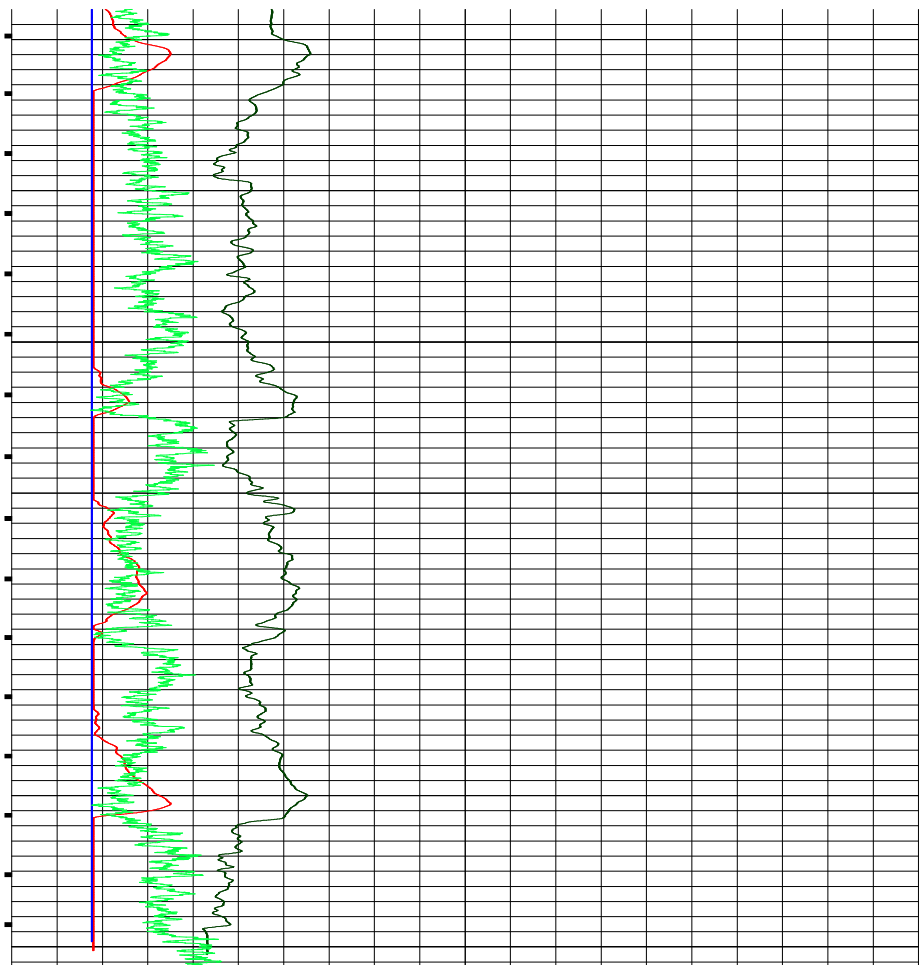


-30 16N OHMM 300

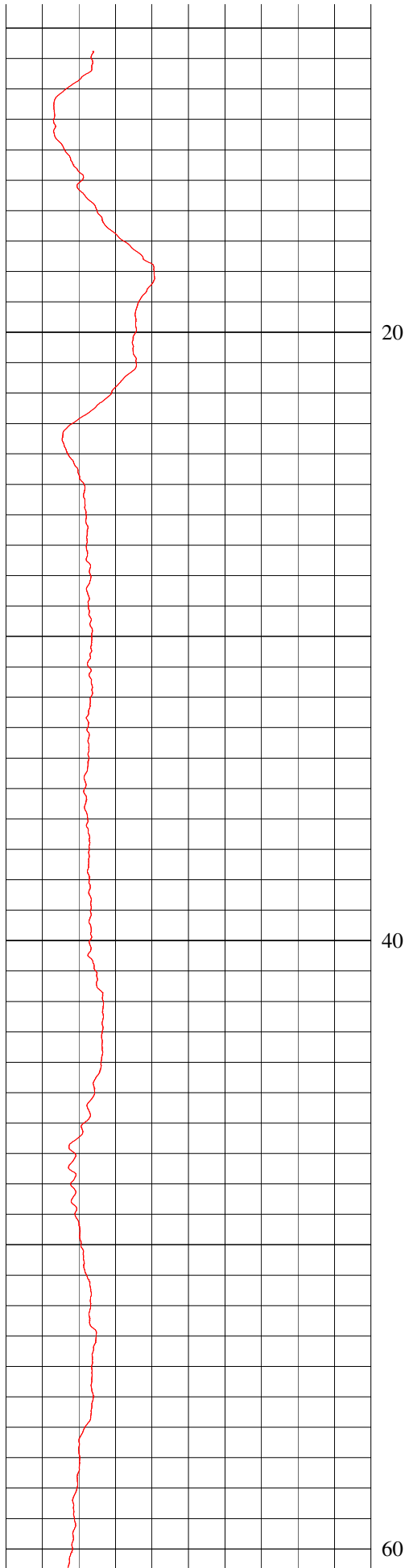
-30 64N OHMM 300

-30 SPR OHM 300

-10 NGAM CPS 300



-2300 SP MV -1600

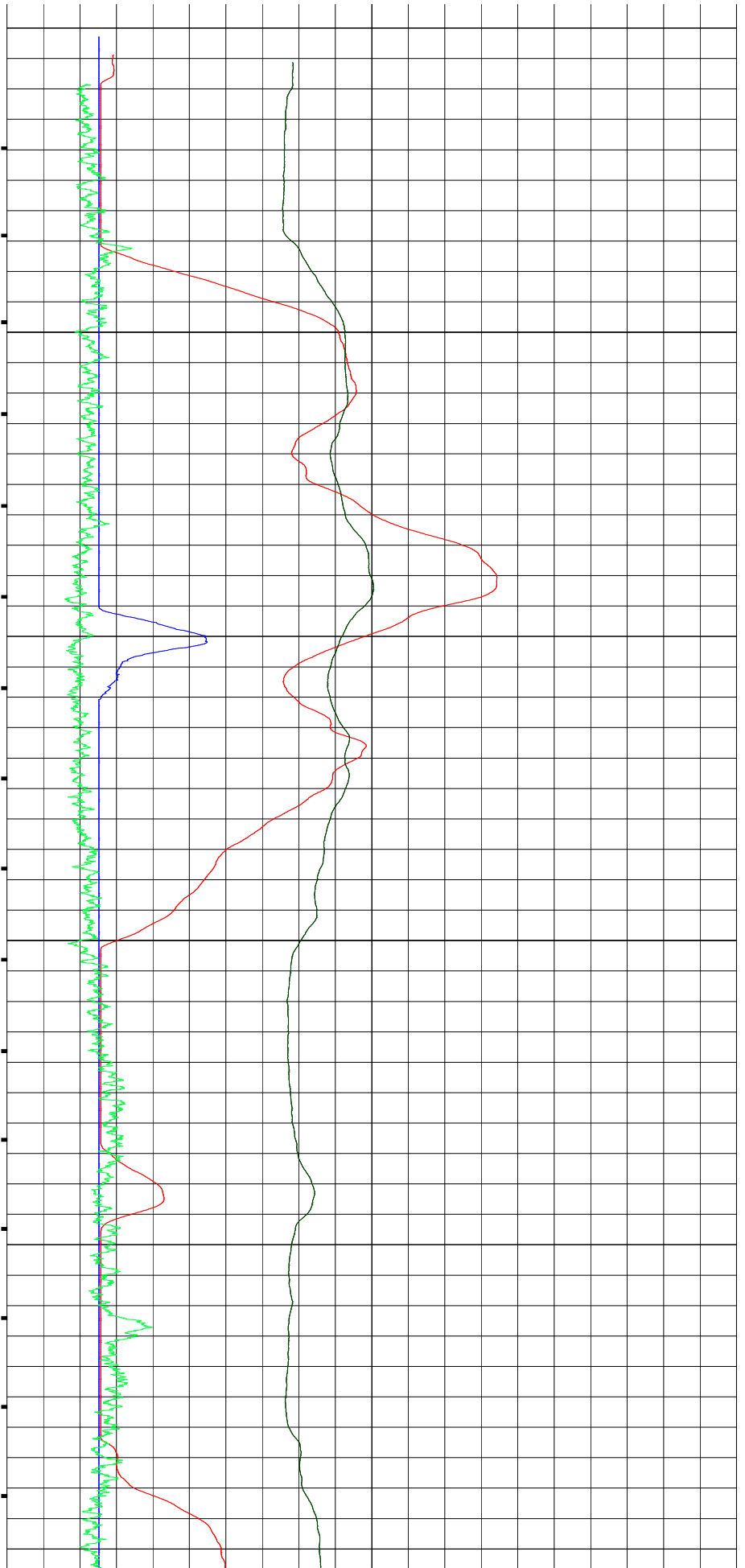


-30 16N OHMM 200

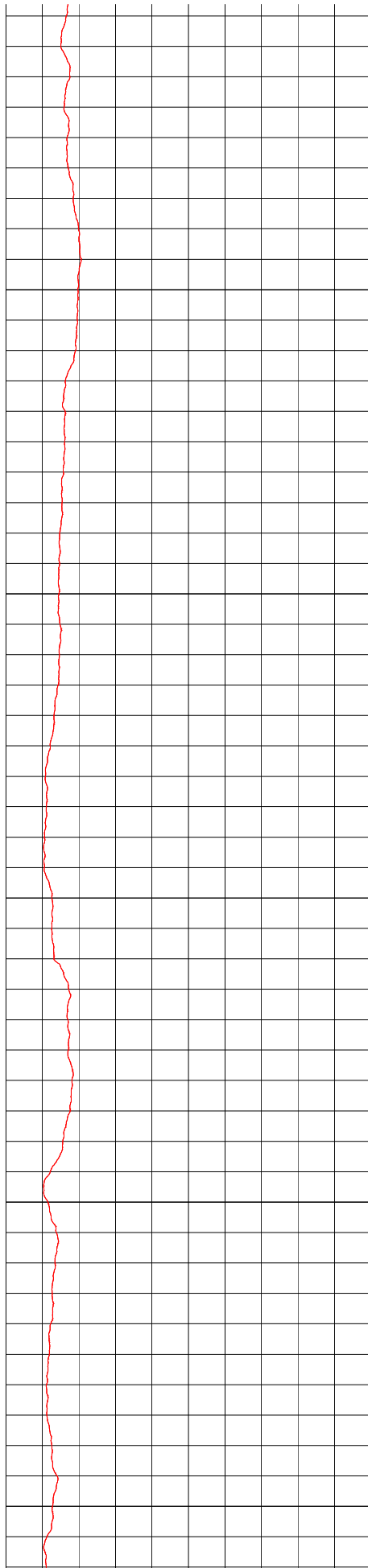
-30 64N OHMM 200

-30 SPR OHM 200

-10 NGAM CPS 300



-2300 SP MV -1600

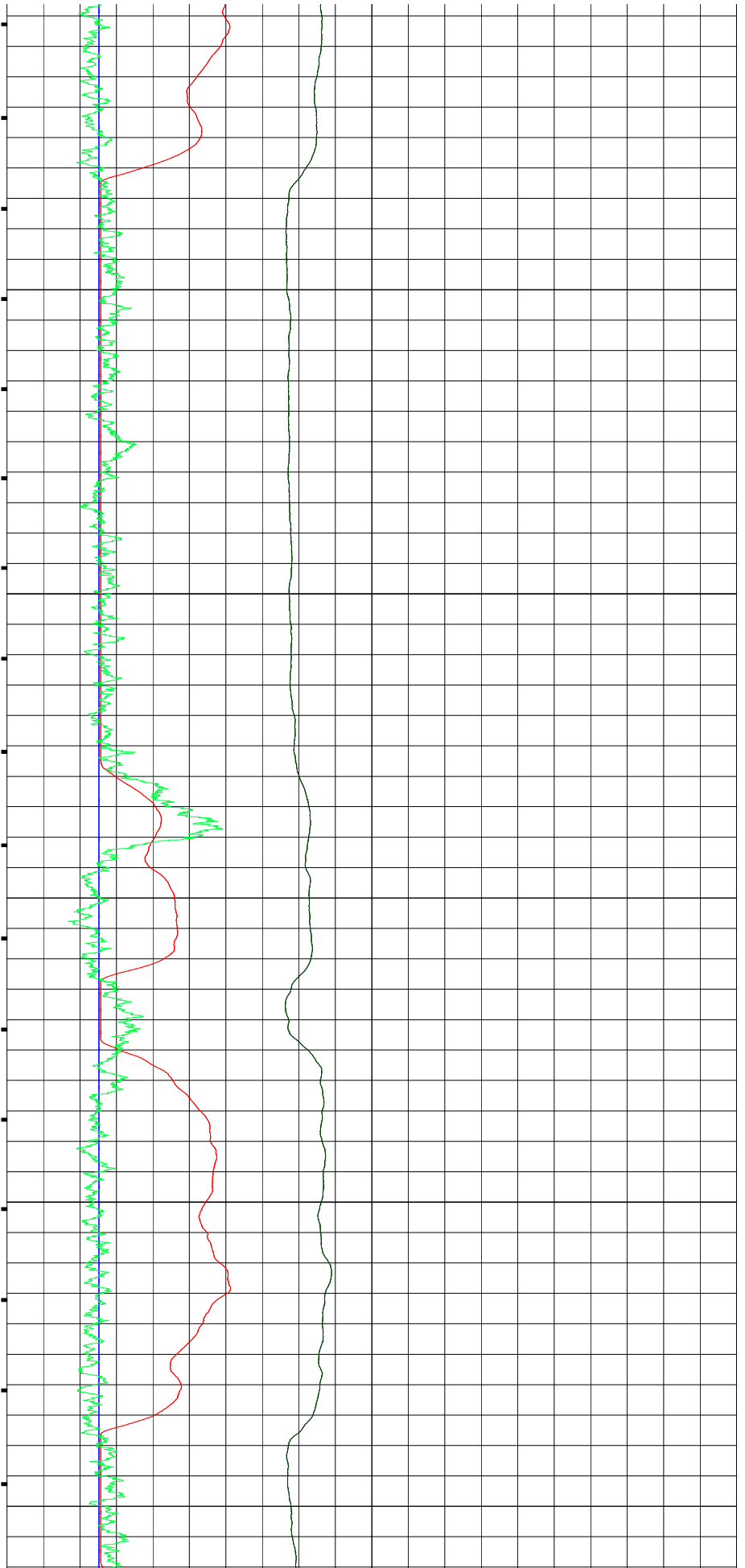


-30 16N OHMM 200

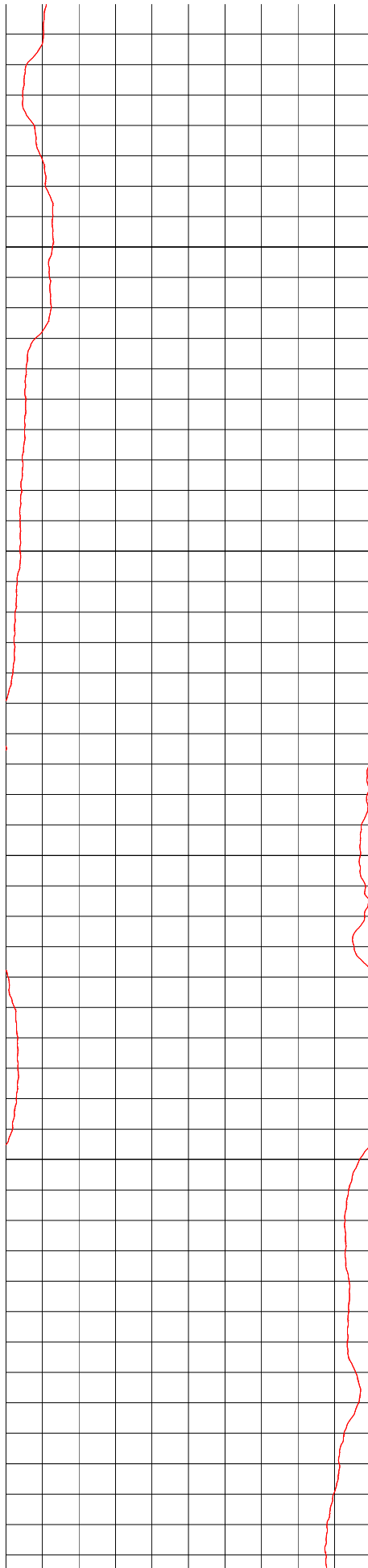
-30 64N OHMM 200

-30 SPR OHM 200

-10 NGAM CPS 300



-2300 SP MV -1600

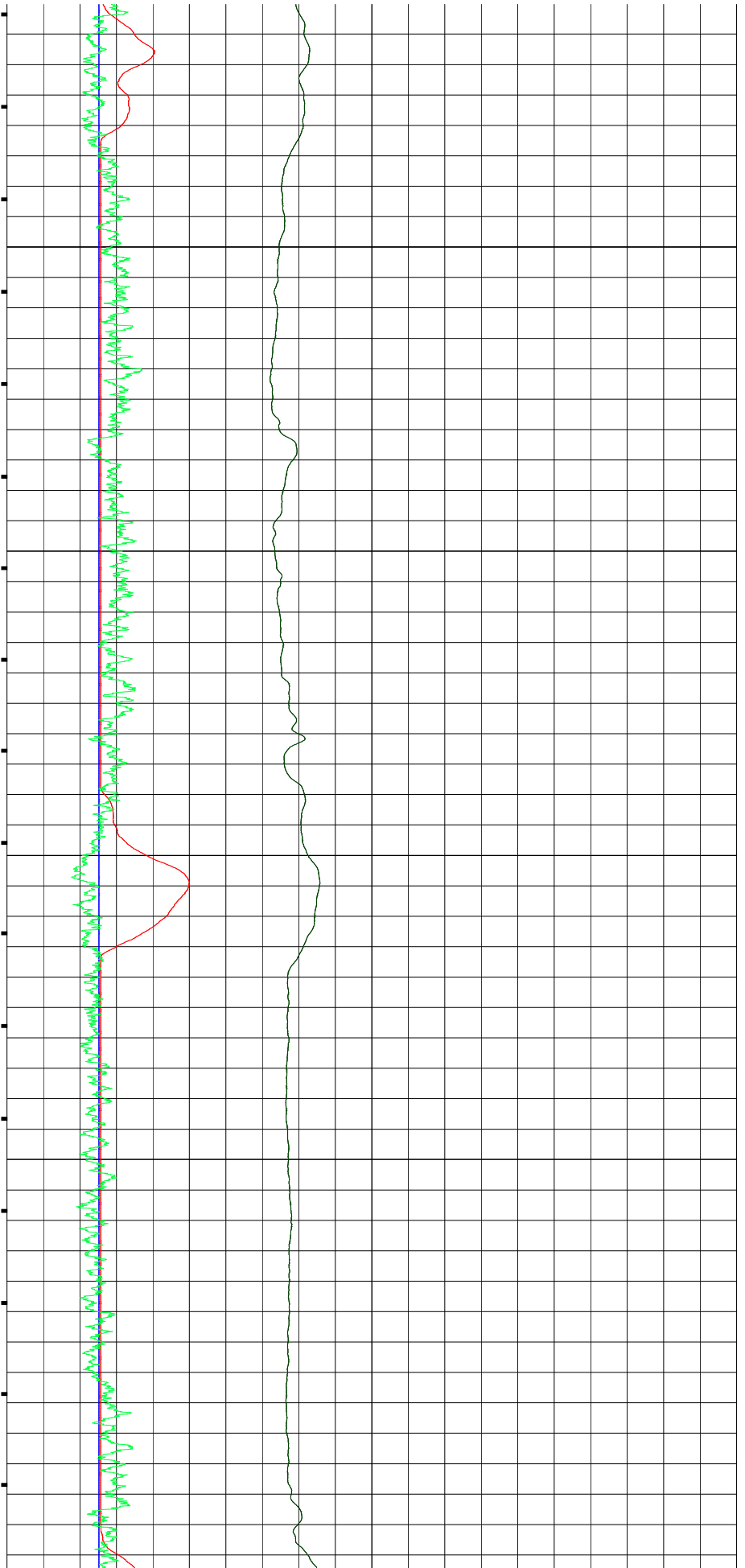


-30 16N OHMM 200

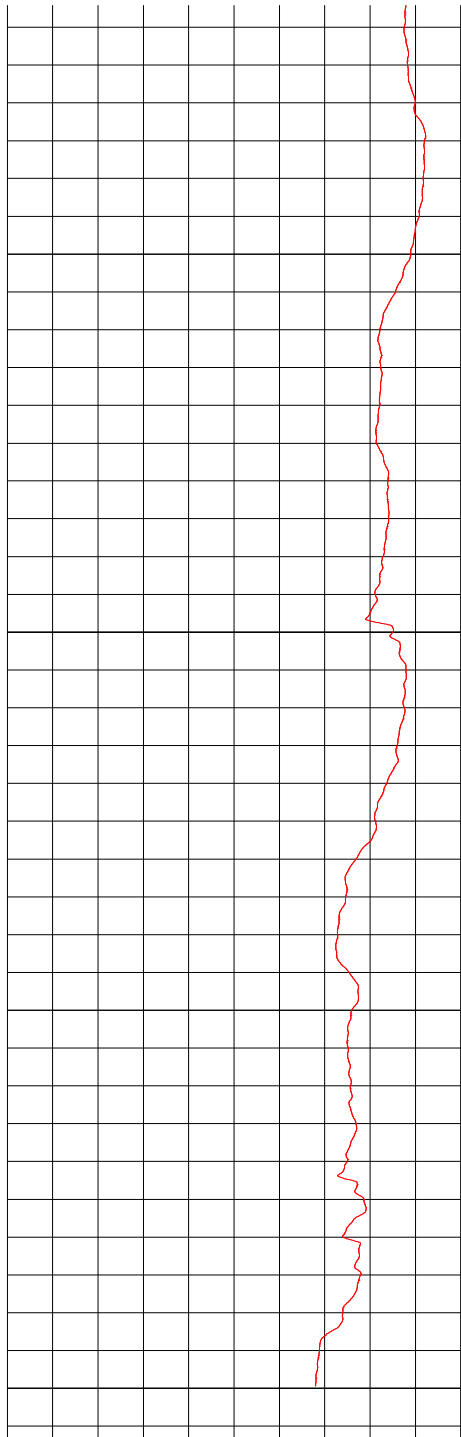
-30 64N OHMM 200

-30 SPR OHM 200

-10 NGAM CPS 300



-2300 SP MV -1600



180

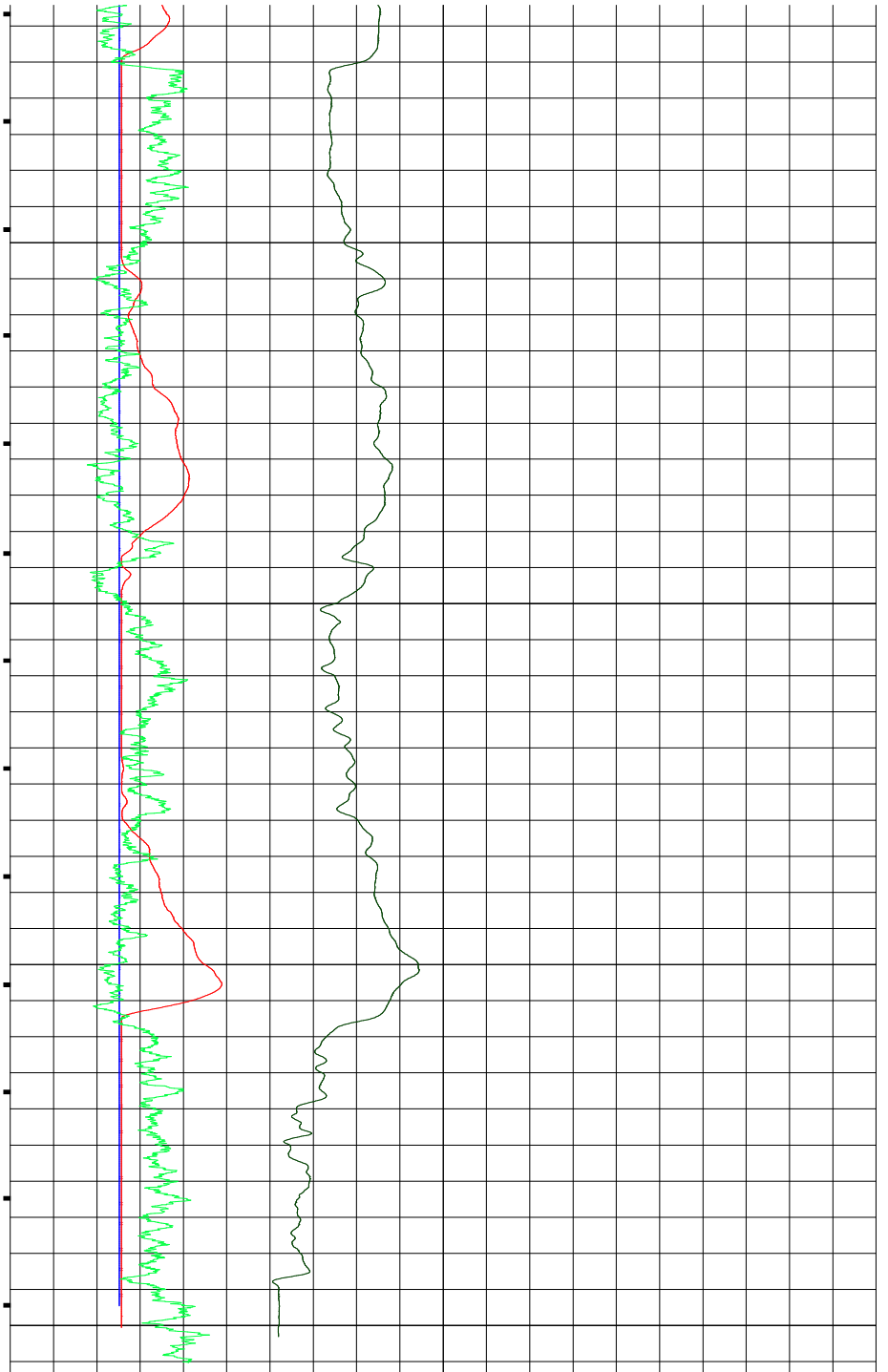
200

-30 16N OHMM 200

-30 64N OHMM 200

-30 SPR OHM 200

-10 NGAM CPS 300



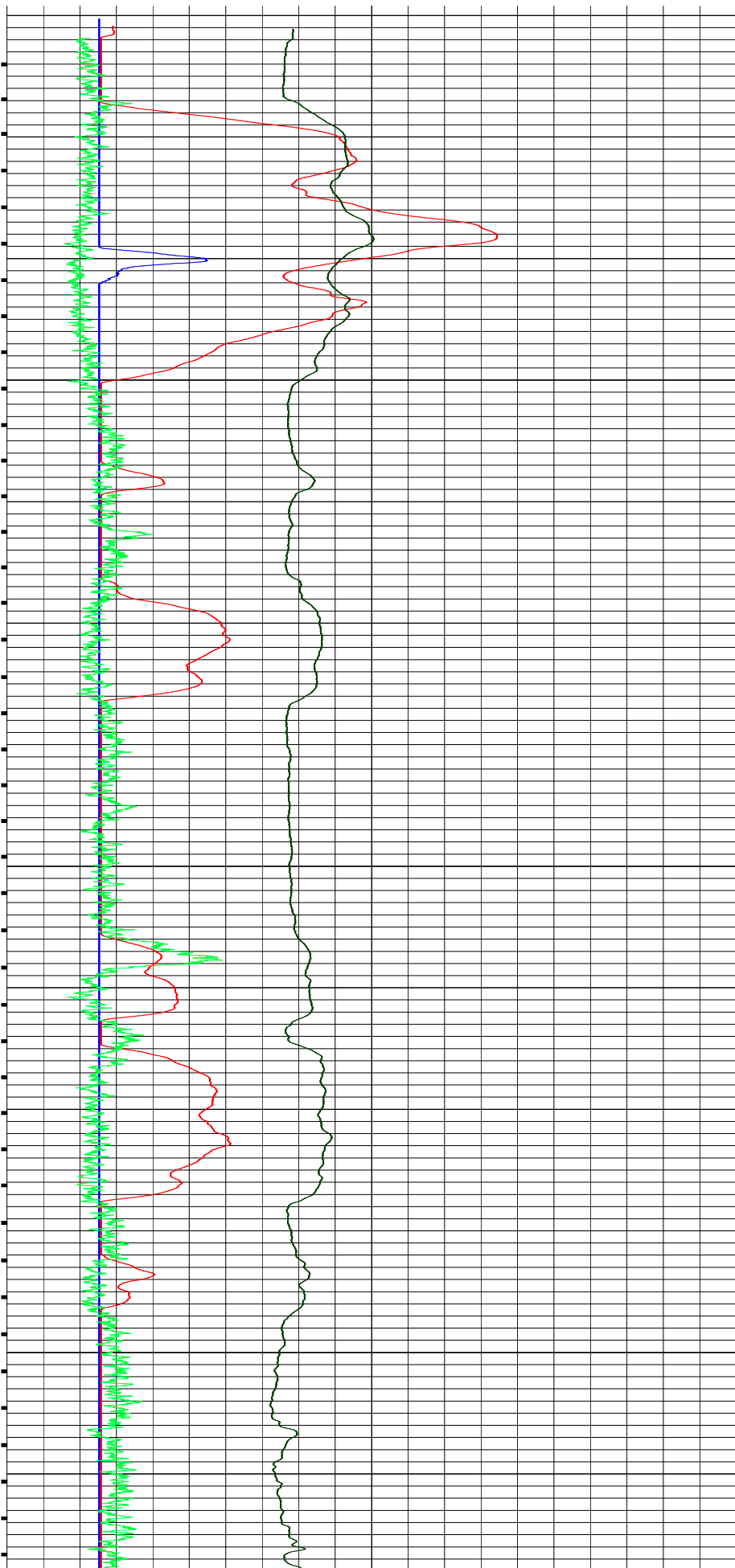
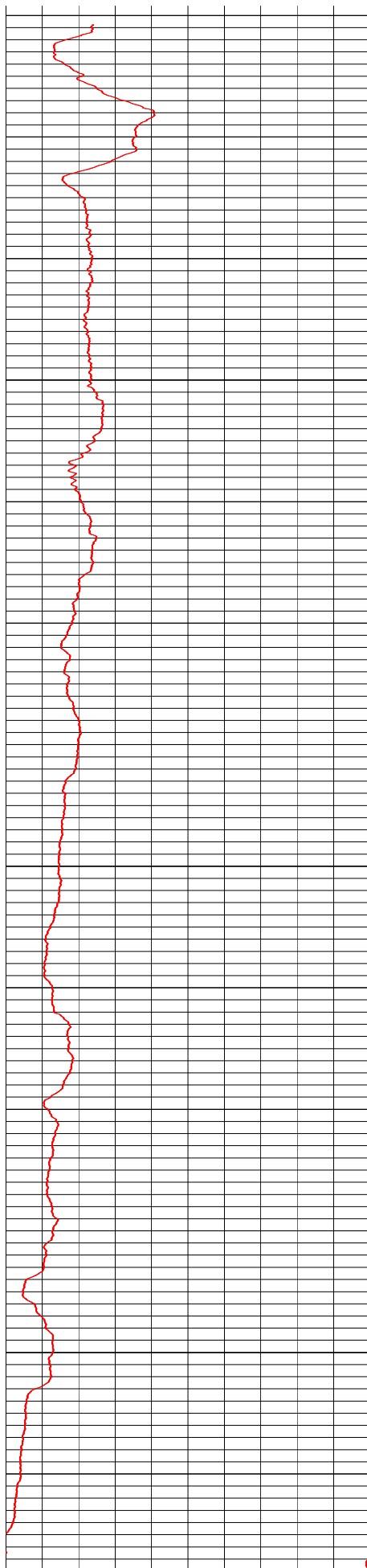
-2300 SP MV -1600

-30 16N OHMM 200

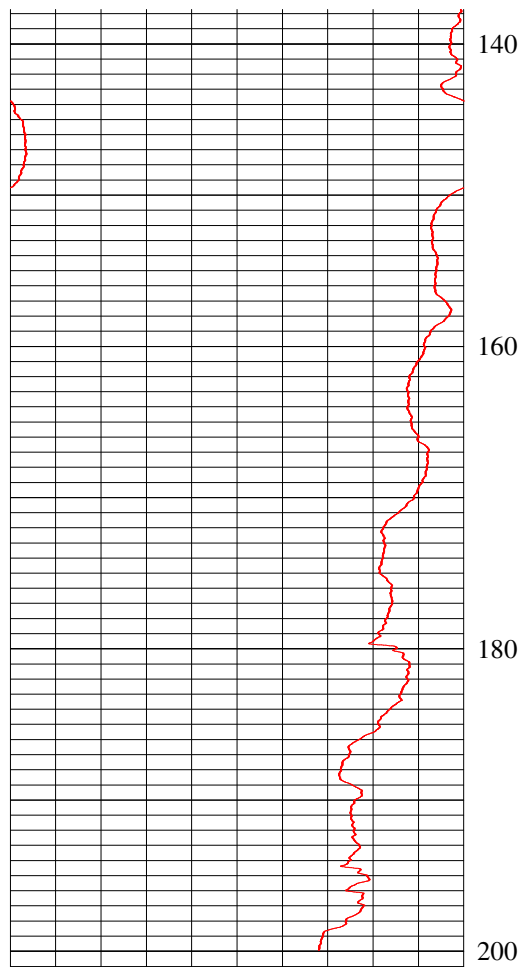
-30 64N OHMM 200

-30 SPR OHM 200

-10 NGAM CPS 300



-2300 SP MV -1600

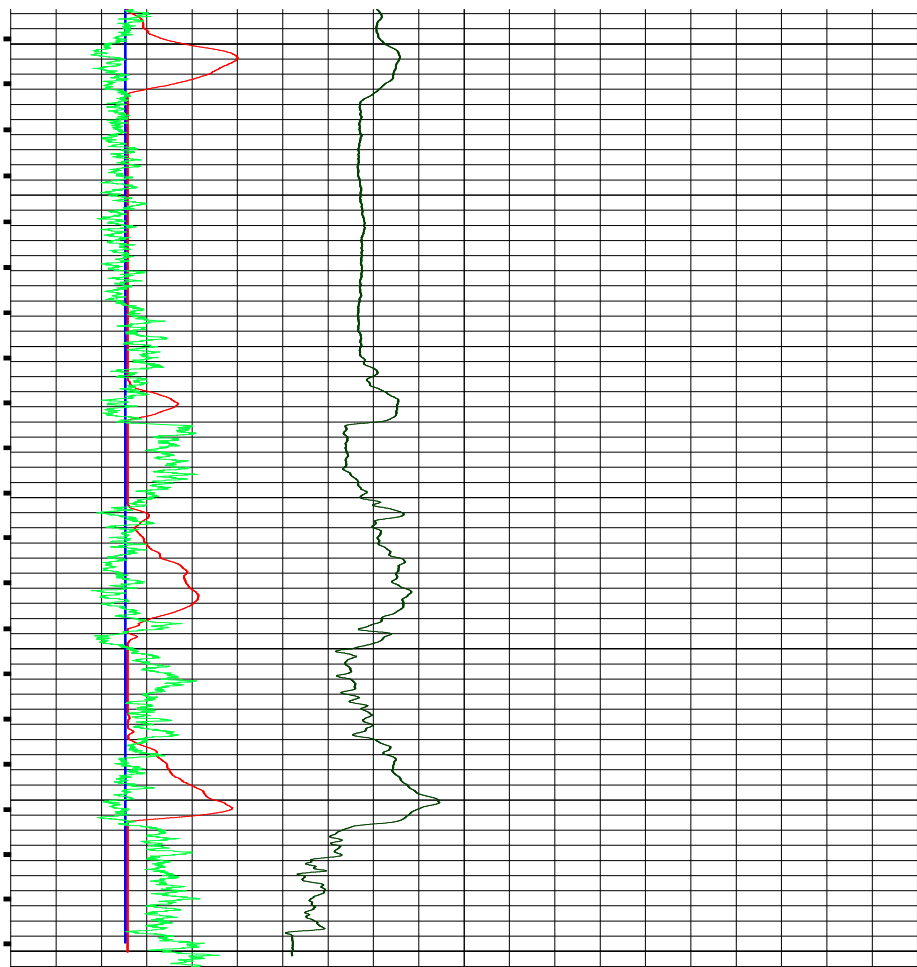


-30 16N OHMM 200

-30 64N OHMM 200

-30 SPR OHM 200

-10 NGAM CPS 300



Anexo 3

Ensaio de Caudal

ENSAIO ESCALONADO 1ª Fase

Caudal 25 Lt/s

Dia 05/08/2014

HORA	Tempo acumulado	Hr /Min	Profundidade
13:00	0	0	22,66
13:02	2	2	24,87
13:04	4	4	26,89
13:06	6	6	27,08
13:08	8	8	26,77
13:10	10	10	26,88
13:15	15	15	25,97
13:20	20	20	29,96
13:25	25	25	26,95
13:30	30	30	27,65
13:35	35	35	26,84
13:40	40	40	27,62
13:50	50	50	25,75
14:00	60	1 Hr	27,70
14:15	75	15	27,11
14:30	90	30	27,65
14:45	105	45	27,13
15:00	120	2 Hr	27,11
15:20	140	20	24,55
15:40	160	40	27,06
16:00	180	3 Hr	27,20
16:30	210	30	27,70
17:00	240	4 Hr	27,08
18:00	300	5 Hr	27,19
19:00	360	6 Hr	28,43
20:00	420	7 Hr	27,38
21:00	480	8 Hr	27,32

ENSAIO ESCALONADO 1ª Fase**Caudal 30 Lt/s****Dia 25/08/2014**

HORA	Tempo acumulado	Hr /Min	Profundidade
15:00	0	0	22,30
15:02	2	2	26,50
15:04	4	4	26,90
15:06	6	6	27,12
15:08	8	8	27,23
15:10	10	10	27,30
15:15	15	15	27,71
15:20	20	20	27,86
15:25	25	25	27,98
15:30	30	30	28,09
15:35	35	35	28,18
15:40	40	40	28,21
15:50	50	50	28,37
16:00	60	1 Hr	28,47
16:15	75	15	28,49
16:30	90	30	28,61
16:45	105	45	28,57
17:00	120	2 Hr	28,66
17:20	140	20	28,72
17:40	160	40	28,79
18:00	180	3 Hr	28,72
18:30	210	30	28,82
19:00	240	4 Hr	28,86
20:00	300	5 Hr	28,89
21:00	360	6 Hr	29,02
22:00	420	7 Hr	29,22
23:00	480	8 Hr	29,50

ENSAIO ESCALONADO 1ª Fase**Caudal 35 Lt/s****Dia 26/27-08-2014**

HORA	Tempo acumulado	Hr /Min	Profundidade
23:00	0	0	29,50
23:02	2	2	29,79
23:04	4	4	29,84
23:06	6	6	29,80
23:08	8	8	29,75
23:10	10	10	29,73
23:15	15	15	29,60
23:20	20	20	29,70
23:25	25	25	29,50
23:30	30	30	29,40
23:35	35	35	29,19
23:40	40	40	28,96
23:50	50	50	28,44
00:00	60	1 Hr	29,00
00:15	75	15	29,07
00:30	90	30	29,17
00:45	105	45	29,21
01:00	120	2 Hr	29,25
01:20	140	20	29,27
01:40	160	40	29,29
02:00	180	3 Hr	29,29
02:30	210	30	29,31
03:00	240	4 Hr	29,33
04:00	300	5 Hr	29,42
05:00	360	6 Hr	29,30
06:00	420	7 Hr	29,36
07:00	480	8 Hr	29,42

ENSAIO ESCALONADO 2ª Fase**Caudal 35 Lt/s**

Dia

27/08/2014

HORA	Tempo acumulado	Hr /Min	Profundidade
07:00	0	0	29,42
07:02	2	2	29,50
07:04	4	4	29,38
07:06	6	6	29,26
07:08	8	8	29,40
07:10	10	10	29,28
07:15	15	15	29,20
07:20	20	20	29,00
07:25	25	25	29,05
07:30	30	30	28,87
07:35	35	35	28,99
07:40	40	40	28,92
07:50	50	50	28,94
08:00	60	1 Hr	28,95
08:15	75	15	28,89
08:30	90	30	28,94
08:45	105	45	29,05
09:00	120	2 Hr	29,01
09:20	140	20	29,07
09:40	160	40	29,11
10:00	180	3 Hr	29,13
10:30	210	30	29,23
11:00	240	4 Hr	29,23
12:00	300	5 Hr	29,20
13:00	360	6 Hr	29,25
14:00	420	7 Hr	29,35
15:00	480	8 Hr	29,39

Recuperação**Dia 27/08/2014**

HORA	Tempo acumulado	Hr /Min	Profundidade
15:04	0	0	29,45
15:06	2	2	24,25
15:08	4	4	23,90
15:10	6	6	23,66
15:12	8	8	23,58
15:14	10	10	23,41
15:19	15	15	23,30
15:24	20	20	23,15
15:25	25	25	23,19
15:34	30	30	23,05
15:39	35	35	23,02
15:44	40	40	22,95
15:54	50	50	22,81
16:04	60	1 Hr	22,73
16:19	75	15	22,64
16:34	90	30	22,59
16:49	105	45	22,52
17:04	120	2 Hr	22,47
17:24	140	20	22,44
17:44	160	40	22,39
18:04	180	3 Hr	22,30
18:34	210	30	22,23
19:00	240	4 Hr	22,20